



LAPORAN SKRIPSI – ME 091329

**PENILAIAN RISIKO JALUR PIPA GAS
EXPORT PADA DAERAH LABUH JANGKAR**

**FAJAR AGUNG RAHMADI
NRP 4210100039**

**Dosen Pembimbing
Ir. Dwi Priyanta, MSE
Dr. Eng. Trika Pitana, ST, MSc**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014**



FINAL PROJECT – ME 091329

**RISK ASSESSMENT ON PIPELINE GAS
EXPORT PASSING THROUGH AN
ANCHORAGE AREA**

**FAJAR AGUNG RAHMADI
NRP 4210100039**

**Lecturer Advisor
Ir. Dwi Priyanta, MSE
Dr. Eng. Trika Pitana, ST, MSc**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014**

LEMBAR PENGESAHAN
PENILAIAN RISIKO JALUR PIPA GAS EXPORT PADA
DAERAH LABUH JANGKAR

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Bidang Studi *Reliability, Availability,*
Maintainability and Safety (RAMS).

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Fajar Agung Rahmadi
NRP 4210100039

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Dwi Priyanta, MSE
2. Dr.Eng. Trika Pitana, ST, M.Sc

(*[Signature]*)
(*[Signature]*)

SURABAYA
JULI, 2014

LEMBAR PENGESAHAN

PENILAIAN RISIKO JALUR PIPA GAS EXPORT PADA DAERAH LABUH JANGKAR

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Bidang Studi *Reliability, Availability,
Maintainability and Safety* (RAMS).
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fajar Agung Rahmadi
NRP 4210100039

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan:

Dr.Ir.A.A. Masroeri, M.Eng.

SURABAYA
JULI, 2014

PENILAIAN RISIKO JALUR PIPA GAS *EXPORT* PADA DAERAH LABUH JANGKAR

Nama Mahasiswa : Fajar Agung Rahmadi
NRP : 4210100039
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Dwi Priyanta, MSE
Dr. Eng. Trika Pitana, ST, M.Sc

ABSTRAK

Pengembangan berbagai fasilitas eksplorasi, pengolahan, produksi dan distribusi gas di laut dalam Indonesia dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan pencapaian yang progresif demi memenuhi kebutuhan domestik maupun luar negeri. Dua FPU (*Floating Production Unit*) yang menghubungkan dari Hub Gendalo dan Hub Gehem akan beroperasi di perairan dalam Selat Makassar, dimana *sweet gas* didistribusikan menggunakan pipa gas menuju pengolahan darat di Santan Terminal. Dalam kasus penelitian ini, akan dianalisis *offshore gas pipeline* dengan diameter 20 inch yang akan digelar dari *field* Gendalo dan Gehem Kalimantan Timur yang melewati daerah labuh jangkar. Pada kasus ini akan dilakukan penilaian risiko terhadap bahaya dari *ship sinking*, *drop anchor* dan *drag anchor* sesuai DNV-RP-F107 dan DNV-RP-F111. Hal ini dikarenakan jalur yang dilewati pipa gas tersebut melewati daerah labuh jangkar kapal. Untuk itu, penilaian risiko terhadap bahaya tersebut harus dilakukan karena dampak konsekuensi yang mungkin terjadi yaitu *impact*, *pull over* dan *hooking* dari jangkar terhadap pipa akan memberikan bahaya bagi operasional kegiatan eksplorasi, lingkungan dan manusia. Penilaian frekuensi menggunakan metode ETA (*Even Tree Analysis*). Penilaian konsekuensi dan *risk matrix* berdasarkan standar DNV-RP-F107. Untuk simulasi dan pemodelan dari pipa untuk *load stress analysis*

menggunakan *software* AutoPipe. Hasil dari penilaian risiko yang dilakukan, level risiko tertinggi pada *dropped anchor* berada di zona *not acceptable*. Untuk level risiko *dragged anchor* menunjukkan di zona *acceptable*. Sedangkan level risiko *sinking vessel*, berada di zona ALARP (*As Low As Reasonable Practicable*). Mitigasi yang direkomendasikan yaitu dengan mengkondisikan jalur pipa agar dapat dikubur di dalam *seabed*.

Keyword : Risk Assessment; Gas Pipeline;ETA; DNV-RP-F107; Risk Matrix; Simulasi.

RISK ASSESSMENT ON PIPELINE GAS EXPORT PASSING THROUGH AN ANCHORAGE AREA

Name : Fajar Agung Rahmadi
NRP : 4210100039
Department : Marine Engineering
Supervisors : Ir. Dwi Priyanta, MSE
Dr. Eng. Trika Pitana, ST, M.Sc

ABSTRACT

The development of various exploration, production, processing and distribution facilities of gas in the Indonesian deep sea in recent years shows a progressive achievement in order to meet the needs of both domestic and overseas. Two FPU's (Floating Production Unit) which connects from the Hub Gendalo and Hub Gehem will operate in the Makassar Strait, where the sweet gas is distributed using a gas pipeline to the onshore processing in Santan Terminal. In this study, offshore gas pipeline with a diameter of 20 inches that will be held from Gendalo and Gehem fields that pass through the region of East Kalimantan anchoring area will be analyzed. In this case, the risk assessment will be carried out against the danger of the ship sinking, drop anchor and drag anchor according to DNV-RP-F107 and DNV-RP-F111. This is because the path of the gas pipeline passes through the ship's anchoring area. Risk assessment was conducted to determine the risk level of possible frequency and consequences for impact, pull over and hooking of the anchor against the pipeline, which will provide operational hazard for exploration, environment and human activity. Frequency assessments using the ETA method to describe the scenario of the frequency assessment. Consequences assessment and risk matrix calculation was using the standard DNV-RP-F107. For simulation and modeling of the pipe for load stress analysis using software AutoPipe. The results of this assessment is that the highest risk of dropped anchor assessment is in the not acceptable

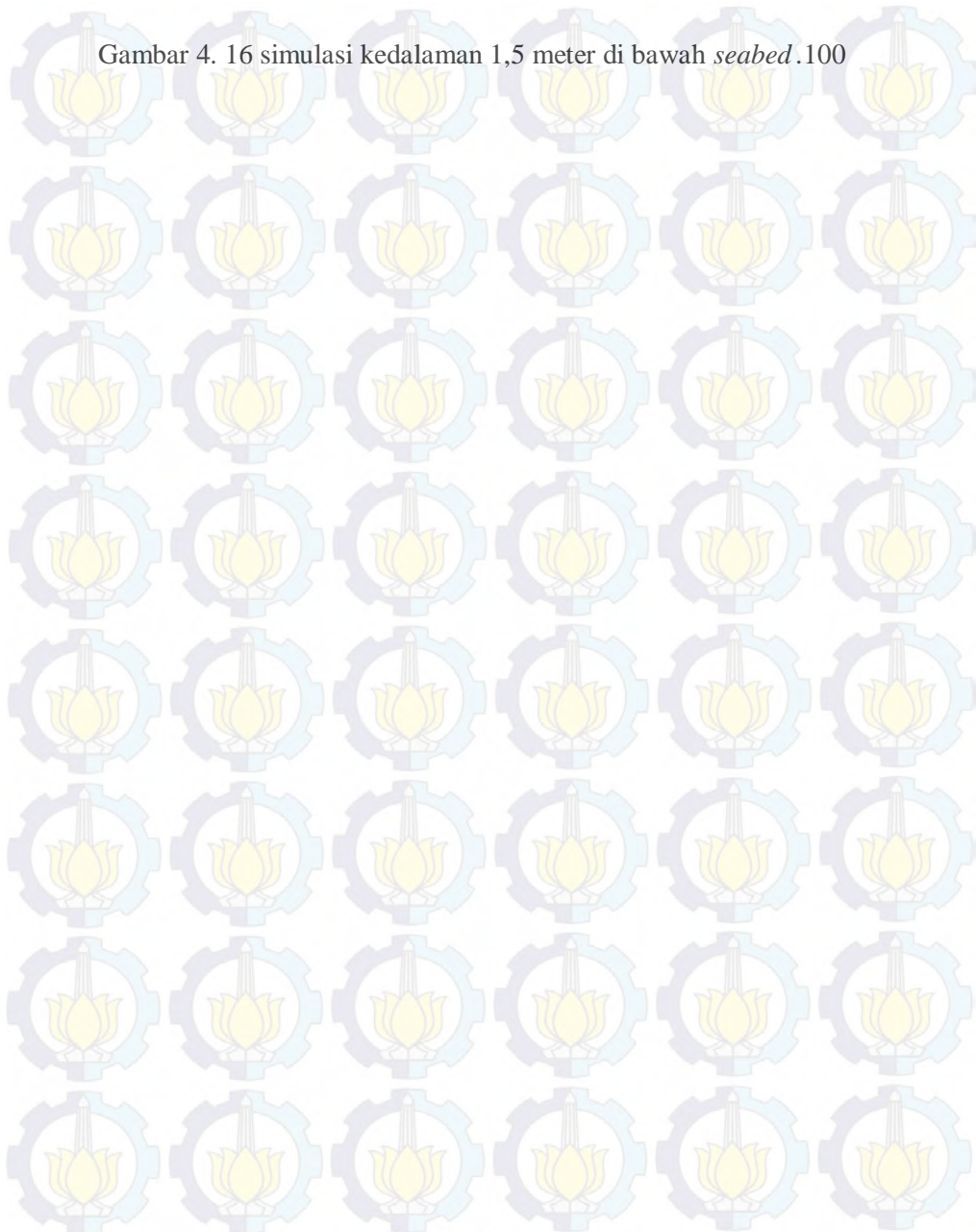
zone. For dragged anchor assessment is in the acceptable zone, and the sinking vessel assessment, the risk level shows in the ALARP (As Low As Reasonable Practicable). Recommended mitigation for this Chase is to provide protection for buried pipelines in the seabed.

Keywords : Risk Assessment; Gas Pipeline; ETA; DNV-RP-F107; Risk Matrix; Simulation.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 peta daerah labuh jangkar yang dilewati jalur pipa gas	3
gambar 1. 2 ilustrasi <i>flowline</i> gendalo dan gehem	5
Gambar 2. 1 <i>risk matrix</i> dnv-rp-f107	13
Gambar 2. 2 contoh eta dari <i>losses propulsion of vessel</i>	15
Gambar 2. 3 energi pada pipa dan jangkar	17
Gambar 2. 4 cadz (<i>critical anchor damage zone</i>)	18
Gambar 2. 5 csz (<i>critical ship zone</i>)	18
Gambar 2. 6 contoh pembebanan (figure 5, dnv-rp-f107)	19
Gambar 2. 7 gaya yang bekerja pada saat tarikan jangkar	26
Gambar 2. 8 beban merata kapal	27
Gambar 2. 9 beban terpusat kapal	28
Gambar 2. 10 contoh masukan data <i>input</i> pada autopipe	30
Gambar 2. 11 contoh pemodelan pada autopipe	30
Gambar 3. 1 <i>flow chart</i> pengerjaan skripsi	31
Gambar 4. 1 data register kapal sesuai bki	42
Gambar 4. 2 data dimensi dan jangkar kapal	43
Gambar 4. 3 <i>geometric probability</i> dari <i>dropped anchor</i>	50
Gambar 4. 4 skenario kegagalan pada <i>brakes windlass</i>	51
Gambar 4. 5 skenario terjadinya <i>dragged anchor</i>	57
Gambar 4. 6 <i>sequence</i> dari skenario <i>sinking vessel</i>	61
Gambar 4. 7 contoh pembebanan (figure 5, dnv-rp-f107)	68
Gambar 4. 8 tabel factor reduksi, tabel 3-3 dnv-rp-f111	75
Gambar 4. 9 grafik c_h , gambar 3-1 dnv-rp-f111	76
Gambar 4. 10 <i>input data</i> pada autopipe	90
Gambar 4. 11 deformasi pada pipa setelah pembebanan	91
Gambar 4. 12 <i>load stress</i> pada pipa dengan <i>software</i> autopipe ..	92
Gambar 4. 13 kekuatan <i>impact</i> dari proteksi sesuai dnv-rp-f107	96
Gambar 4. 14 simulasi kedalaman 1 meter di bawah <i>seabed</i>	99
Gambar 4. 15 simulasi kedalaman 0,5 meter di bawah <i>seabed</i> ..	99

Gambar 4. 16 simulasi kedalaman 1,5 meter di bawah *seabed*.100



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr, wb.

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah swt. karena atas limpahan berkah dan rahmatnya saya bisa menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan baik. Skripsi yang berjudul “*Penilaian Risiko Jalur Pipa Gas Export Pada Daerah Labuh Jangkar*” ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tidak ada yang sempurna di dunia ini. Oleh karena itu saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik, saran, masukan maupun koreksi yang bersifat membangun sangat saya harapkan demi kebaikan dan bertambahnya ilmu pengetahuan yang diperoleh di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

Dalam pengerjaan skripsi ini, saya pastinya tidak akan bisa menyelesaikan sendiri. Untuk itu, saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam bentuk materiil maupun non materiil, sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik. Secara khusus saya ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah swt, yang selalu memberikan nikmat berupa kesehatan, kesempatan, kelancaran, inspirasi, motivasi, keluarga dan teman-teman yang mendukung dalam pengerjaan skripsi ini sehingga bisa terselesaikan dengan baik.
2. Bapak, Ibu, Mas, Mbak, Adik dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan motivasi, dorongan dan bantuan berupa materiil maupun non materiil agar saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Ir. Dwi Priyanta, MSE, selaku dosen pembimbing pertama yang telah membantu dalam pengerjaan skripsi

ini. Terima kasih saya sampaikan kepada bapak atas berbagai *sangu urip* yang banyak bapak berikan selama pengerjaan skripsi ini.

4. Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, ST, M.Sc, selaku dosen pembimbing kedua dan sebagai dosen wali yang telah banyak membantu dengan diskusi dalam pengerjaan skripsi maupun berbagai kegiatan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Terima kasih atas ilmu, bimbingan dan motivasi dari Bapak selama saya di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
5. Bapak A.A.B.Dinariyana D.P., ST, MES, PhD, selaku kepala Laboraturium RAMS atas *sharing* ilmu, pengalaman, nasihat, motivasi dan *guyon-guyonannya* selama beraktivitas di laboraturium. Terima kasih juga atas perhatian, dorongan dan inspirasi bapak disetiap kesempatan di laboraturium.
6. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST, M.Sc, selaku ketua KPJ jurusan dan dosen penguji skripsi yang selalu memberikan motivasi, nasihat, ilmu akademik maupun non akademik. Terima kasih atas *sharing* ilmu, pengalaman maupun berbagai informasi selama berada di Laboraturium RAMS.
7. Bapak Dr. Raja Oloan Saut Gurning, ST, M.Sc dan Bapak Dr. Badruz Zaman, ST, M.Sc selaku dosen penguji di RAMS yang telah banyak membantu dan membimbing dalam berbagai kesempatan di kampus maupun luar kampus. Terima kasih karena telah banyak *sharing* ilmu dan pengalaman diberbagai kesempatan.
8. Fadilla Indrayuni Prastyasari sebagai pendamping setia yang telah rela meluangkan banyak waktu bersama disaat suka duka, memberikan motivasi, semangat dan dukungan kepada penulis sehingga bisa seperti sekarang ini. Terima kasih atas senyum dan kebahagiaan yang telah diberikan selama lima tahun ini dan waktu-waktu yang akan datang.

9. Teman-teman PINISI'10, terima kasih atas semua canda tawa, susah senang, dukungan dan kerja sama yang telah kita lakukan disetiap kesempatan bersama. Semoga diwaktu yang akan datang kita bisa bertambah erat, tambah sukses dan tambah *sangar*.
10. Teman-teman Pejuang Wisuda 110 dan Pasukan Berani Makan Lab Safety, Viko "Bathuk", Dhika "Alay", Cak Gun "Pak Brengos", Astri "Suce", Upik "Poohh", Yolanda, Mas Adit "Kepel", Simon "Sinom", Kholid "ARB", Adit "Ustadz", Ghofur "Kangean" dan member Lab RAMS Happy, Bimo, Ucik, Satrio, Alfin, Barok "Alien", Annisa, Emmy, Putri dan seluruh member. Terima kasih karena telah menghiasi hari-hari di lab dengan penuh keceriaan. Semoga bisa sukses semua dunia dan akhirat. Terutaman untuk Mas Dwi "Kiwil" dan Habib yang telah banyak membantu konsultasi dalam mengerjakan skripsi.
11. Teman-teman pencari suaka di Labkom, Mas Pandika, Agung Pgrpt, Dani Mishbah "kripik" dan Jimmy. Terima kasih atas bantuannya karena telah mengajari simulasi *software*.
12. Teman-teman Kos Bunda Rock n Roll gang Potelot, Mas Mat "Tombol", Mas Arif "Magetan", Mas Bimo "Gemol", Mas Maul "Brewok", Mas Oyek, Mas Edo "Papa Pulang", Eko, Ardo, Nanang, Irfan "kriwul" dan seluruh mas-mas yang lain. Terima kasih atas kenangan, canda tawa dan keramaian yang telah kita lalui selama di kos.
13. Alumni JTSP, senior, junior, sekretariat JTSP dan kepada seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dan berupa materiil maupun non materiil yang tidak bisa saya seebutkan satu persatu. Semoga semua amalan baik bisa dibalas dengan kebaikan pula oleh Allah swt.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para penulis, pembaca dan para pencari ilmu untuk bahan studi selanjutnya.

Wassalamualaikum wr,wb.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penulisan	7
1.5 Manfaat Penulisan	7
BAB II.....	9
TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Umum	9
2.2 Penilaian Risiko (Risk Assessment)	9
2.2.1 <i>Hazard Identification</i>	10
2.2.2 <i>Frequency Assessment</i>	11
2.2.3 <i>Consequence Assessment</i>	12
2.2.4 <i>Risk Evaluation</i>	13
2.3 <i>Standard Det Norske Veritas (DNV)</i>	13
2.3.1 Rangking Frekuensi	14
2.3.2 Rangking Konsekuensi	15
2.3.3 Analisis Risiko Akibat <i>Dropped Anchor</i>	17
2.3.4 Analisis Risiko Akibat <i>Dragged Anchor</i>	21
i. Gaya yang Bekerja pada Jangkar.....	21
ii. Gaya yang Bekerja Akibat Daya Kapal	25
iii. Gaya yang Bekerja pada Rantai Jangkar.....	26
2.3.5 Penilaian Risiko Akibat <i>Sinking Vessels</i>	27
2.4 Software Autopipe.....	29
BAB III	31
METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Pengumpulan Data	32
a. Identifikasi Bahaya.....	32
b. Analisis Frekuensi	33
c. Analisis Konsekuensi	33
d. Risk Matrix	33
e. Mitigasi	33

f.	Verifikasi	35
g.	Kesimpulan dan Saran	35
BAB IV		37
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Pengumpulan Data	37
4.1.1	Data Pipa.....	37
4.1.2	Data <i>Traffic</i> Kapal	41
4.1.3	Data Lingkungan	45
4.2	Identifikasi Bahaya.....	47
4.3	Penilaian Risiko	47
4.3.1	Penilaian Frekuensi	48
4.3.2	Penilaian Konsekuensi.....	66
4.3.3	Simulasi <i>Dropped Anchor</i> dengan AutoPipe	90
4.3.4	<i>Risk Matrix</i>	92
4.4	Mitigasi.....	96
4.4.1	Simulasi dan Pemodelan <i>Buried Pipeline</i>	98
BAB V		101
KESIMPULAN DAN SARAN		101
5.1	Kesimpulan	101
5.2	Saran.....	102
DAFTAR PUSTAKA		103

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 daftar produksi dan ekspor gas alam indonesia.....	2
Tabel 1. 2 luasan area labuh jangka.....	4
Tabel 1. 3 fasilitas yang ada di gendalo dan gehem.....	4
Tabel 2. 1 tabel identifikasi bahaya (<i>potential external hazard</i>), dnv-rp-f107.....	11
Tabel 2. 2 rangking frekuensi dnv-rp-f107	14
Tabel 2. 3 rangking konsekuensi, dnv-rp-f107.....	17
Tabel 2. 4 <i>drag coefficient</i> , dnv-rp-f107	20
Tabel 3. 1 peraturan tentang arus pelayaran.....	34
Tabel 4. 1 data desain jalur pipa gendalo	38
Tabel 4. 2 material pipa gas gendalo	38
Tabel 4. 3 data gas selama proses di fpu gendalo	39
Tabel 4. 4 data desain jalur pipa gas gehem.....	40
Tabel 4. 5 material pipa gas gehem	40
Tabel 4. 6 data gas selama proses di fpu gehem.....	41
Tabel 4. 7 pengelompokkan kapal berdasar gt	42
Tabel 4. 8 contoh data <i>traffic</i> kapal	44
Tabel 4. 9 pengelompokkan kapal	45
Tabel 4. 10 <i>soil data</i> pada daerah gendalo	46
Tabel 4. 11 <i>soil data</i> pada daerah gehem	46
Tabel 4. 12 profil suhu air laut	47
Tabel 4. 13 tabel penilaian frekuensi.....	54
Tabel 4. 14 eta <i>dropped anchor</i>	55
Tabel 4. 15 kesimpulan penilaian frekuensi <i>dragged anchor</i>	59
Tabel 4. 16 eta <i>dragged anchor</i>	60
Tabel 4. 17 kesimpulan penilaian frekuensi <i>sinking vessel</i>	63
Tabel 4. 18 eta <i>sinking vessel</i>	64
Tabel 4. 19 kesimpulan total penilaian frekuensi	65
Tabel 4. 20 data jangka	66

Tabel 4. 21 hasil <i>impact</i> berdasarkan variasi <i>dent diameter</i> pada pipa.....	68
Tabel 4. 22 total <i>impact</i> energi pipa dan <i>coating</i>	69
Tabel 4. 23 perbedaan energi yang menimpa pipa	70
Tabel 4. 24 terminal energi sesuai tipe jangkar	71
Tabel 4. 25 kecepatan terminal jangkar sesuai berat jangkar	73
Tabel 4. 26 <i>impact effective</i> dari seluruh tipe jangkar	74
Tabel 4. 27 data kapal untuk perhitungan <i>thrust</i>	82
Tabel 4. 28 kesimpulan energi <i>dragged anchor</i> sesuai variasi kecepatan.....	85
Tabel 4. 29 spesifikasi kapal berdasarkan ukuran kapal	86
Tabel 4. 30 terminal energi akibat <i>sinking vessel</i>	87
Tabel 4. 31 <i>drag coefficient</i> , dnv-rp-f107	88
Tabel 4. 32 kecepatan terminal berdasarkan berat kapal	89
Tabel 4. 33 <i>impact effective</i> akibat <i>sinking vessel</i>	90
Tabel 4. 34 hasil <i>input risk matrix dropped anchor</i>	93
Tabel 4. 35 hasil <i>input risk matrix dragged anchor</i>	94
Tabel 4. 36 hasil <i>input risk matrix sinking vessel</i>	95

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri minyak dan gas mempunyai faktor risiko terbesar terjadi kegagalan. Hal tersebut bisa bersumber dari kesalahan dalam menangani fluida yang dieksplorasi, kesalahan dalam *design plant* maupun menurunnya kinerja atau kualitas salah satu bagian dalam *plant* yang bisa berakibat fatal. Yang bisa menjadi penyebab suatu kegagalan pun bervariasi, bisa dari internal seperti korosi dan dari eksternal seperti bencana alam ataupun *accident* dari luar sistem. Risiko kegagalan tersebut pasti ada dan bisa terjadi kapan saja, namun potensi bahaya tersebut bisa dicegah atau diminimalisir dalam bentuk mitigasi sesuai prosedur keselamatan dan keamanan yang ada agar sebisa mungkin tidak ada korban jiwa, rugi material maupun terjadi *failure* dalam kegiatan minyak dan gas.

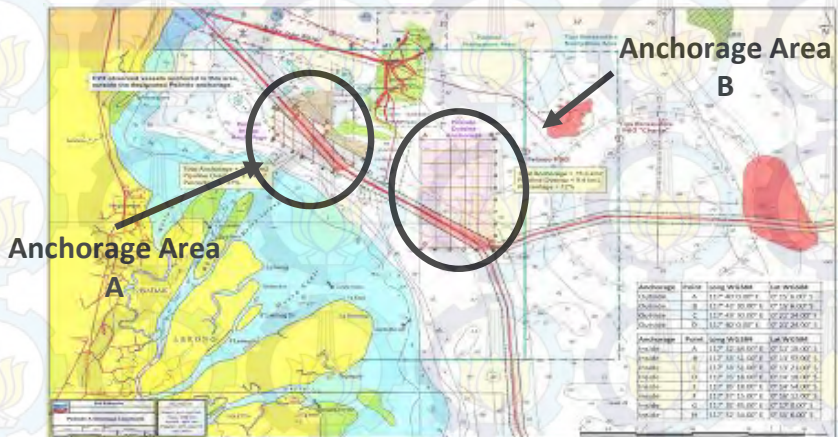
Gas merupakan salah satu sumber daya alam yang melimpah di Indonesia. Pada era sekarang ini, gas juga merupakan solusi energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak yang bisa dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan industri maupun masyarakat. Hal tersebut dikarenakan menipisnya cadangan minyak dan kurang stabilnya harga minyak dunia. Di Indonesia sendiri pemanfaatan gas sebagai energi alternatif mulai meningkat dari tahun ke tahun. Dengan peningkatan jumlah pengguna dan permintaan akan gas, pemilihan sarana transportasi maupun distribusi gas pun menjadi sangat penting demi menunjang efektifitas dari segi ekonomi dan teknis.

Tabel 1. 1 Daftar Produksi dan Ekspor Gas Alam Indonesia

Tahun	Produksi Kilang	Ekspor	% Ekspor thd Produksi
2004	1.328.421.053	1.323.050.000	99,60%
2005	1.245.789.474	1.214.838.000	97,50%
2006	1.178.953.728	1.172.367.000	99,40%
2007	1.097.453.115	1.068.372.000	97,40%
2008	1.083.138.532	1.067.732.900	98,60%
2009	1.049.100.110	1.041.318.871	99,30%
2010	1.272.862.103	1.210.843.000	95,10%
2011	1.156.397.190	1.098.238.387	95%
2012	958.537.030	949.441.340	99,10%

(sumber: Ditjen MIGAS, 2012)

Seiring dengan banyaknya sumur atau ladang gas baru di Indonesia, pembangunan infrastruktur untuk mengeksplorasi, mengakomodasi, transportasi dan distribusinya pun menjadi tantangan masa kini. Pipa merupakan suatu sarana yang digunakan untuk mengalirkan fluida gas dan cair dalam jumlah dan jarak tertentu. Di Indonesia sendiri bisa dijumpai jalur pipa yang berada di permukaan *seabed* atau di dasar laut (*offshore*) maupun di darat (*onshore*). Akibat tingginya jumlah permintaan gas dari sektor industri dan ekspor, menyebabkan banyaknya jumlah pembangunan infrastruktur jalur pipa gas dimana setiap jalur pipa mempunyai kemungkinan terjadi kegagalan dan risiko yang berbahaya. Sesuai **tabel 1.1**, bisa dilihat hasil ekspor gas dari tahun 2004 sampai 2012.



Gambar 1. 1 Peta Daerah Labuh Jangkar yang Dilewati Jalur Pipa Gas

Dalam kasus penelitian ini, akan dianalisis *offshore gas pipeline* yang akan digelar di Gendalo-Gehem Kalimantan Timur. Pada kasus ini akan dilakukan analisis terhadap bahaya dari *ship sinking*, *drop anchor* dan *drag anchor* sesuai DNV-RP-F107 dan DNV-RP-F111. Hal ini dikarenakan jalur yang dilewati pipa gas tersebut melewati daerah labuh jangkar kapal, sesuai **gambar 1.1**. Untuk itu, penilaian risiko terhadap bahaya tersebut harus dilakukan karena dampak konsekuensi yang mungkin terjadi yaitu *impact*, *pull over* dan *hooking* dari jangkar terhadap pipa akan memberikan bahaya bagi operasional kegiatan eksplorasi, lingkungan dan manusia.

Pada gambar 1 menggambarkan area labuh jangkar yang dilewati jalur pipa dari FPU (*Floating Production Unit*) yang ada di daerah Gendalo dan Gehem. Dari masing-masing Hub tersebut, gas dan kondensat ekspor akan dialirkan dengan pipa *trunkline* yang terpisah menuju Santan Terminal. Definisi dari *trunkline* sendiri adalah pipa yang akan mengalirkan hasil produk minyak atau gas dari *platform* melalui jaringan pipa bawah laut menuju ke daratan (*onshore*).

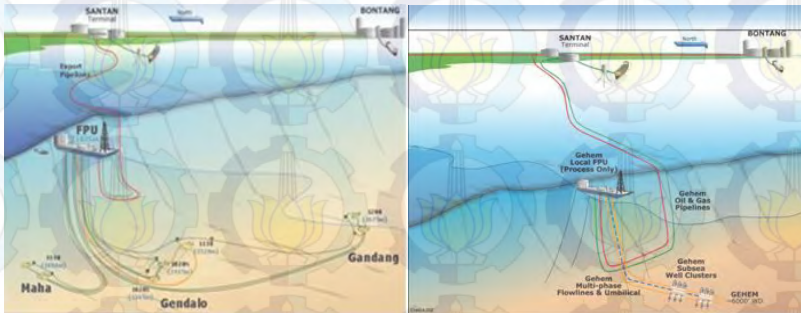
Tabel 1. 2 Luasan area labuh jangkar

NO	Hal	Anchorage Area A	Anchorage Area B
1	Total Anchorage	25,1 km ²	75,3 km ²
2	Pipeline Overlap	9,3 km ²	9,4 km ²
3	Persentase	37%	12%

Data yang ditunjukkan pada **Tabel 1.2** menunjukkan persentase luasan yang dilalui jalur pipa di dalam area labuh jangkar atau *anchorage area* A dan B. Dengan luasan labuh jangkar yang berbeda, maka persentase jalur pipa yang melewati juga berbeda. Semakin kecil luasan area labuh jangkar, tentunya densitas kapal yang berada di area tersebut akan semakin besar, sehingga risiko pipa terhadap *dropped anchor*, *dragged anchor* dan *sinking vessels* juga semakin besar. Pada skripsi ini, batasan masalah yang diambil adalah objek pipa yang melewati daerah labuh jangkar yang ditunjukkan pada **Tabel 1.3**.

Tabel 1. 3 Fasilitas yang Ada di Gendalo dan Gehem

No	Fasilitas	Gendalo	Gehem
1	FPU	<ul style="list-style-type: none"> • Kedalaman 2.200-5.600 feet • 700 mmscf gas • 25 mbopd kondensat 	<ul style="list-style-type: none"> • 6000 feet. • 420 mmscf gas • 30 mbopd kondensat
2	Pipe trunkline Gas	<ul style="list-style-type: none"> • 150 km. • Diameter 20 inch • 3.300 psig 	<ul style="list-style-type: none"> • 88 km • 16 inch • 3.300 psig
3	Pipe trunkline Kondensat	<ul style="list-style-type: none"> • 150 km • 8 inch • 3.300 psig 	<ul style="list-style-type: none"> • 88 km • 8 inch • 4.620 psig



Gambar 1. 2 Ilustrasi *flowline* Gendalo dan Gehem

Penilaian risiko ini akan difokuskan pada jalur pipa yang melintasi daerah labuh jangkar karena memiliki potensi bahaya yang besar akibat *ship sinking*, *drop anchor* dan *drag anchor* dengan memanfaatkan *software* Autopipe untuk menganalisis konsekuensi dan *hazard* yang terjadi, bisa dilihat di **gambar 1.2**. Dari simulasi yang dilakukan dengan *software* tersebut akan mendapatkan *output* berupa analisis tegangan pada jaringan pipa tersebut. Penentuan rangking frekuensi dan konsekuensi mengacu kepada standar Det Norske Veritas (DNV) RP-F107. Selanjutnya menggunakan metode *Risk Matrix* dalam mengevaluasi risiko yang terjadi. Apabila risiko yang terjadi berada dalam kriteria yang tidak dapat ditolerir, maka perlu dilakukan mitigasi untuk menurunkan risiko ke tingkatan level ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) atau level yang dapat diterima.

Salah satu pedoman yang bisa digunakan untuk melakukan mitigasi berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 68 tahun 2011 tentang Alur Pelayaran di Laut pasal 45 adalah:

- Penempatannya di sisi terluar alur-pelayaran.
- Alur pelayaran dengan kedalaman laut < 20 meter, kabel laut dan pipa bawah laut harus dipendam empat meter dibawah permukaan dasar laut.
- Alur pelayaran dengan kedalaman 20-40 meter kabel laut dan pipa bawah laut harus dipendam dua meter di bawah permukaan dasar laut.

- Alur pelayaran dengan kedalaman lebih dari 40 meter, kabel laut dan pipa bawah laut harus dipendam satu meter di bawah permukaan dasar laut.
- Pada lokasi tertentu untuk mengantisipasi pengembangan pelabuhan dan kepadatan lalu lintas pelayaran perlu dilakukan *risk assessment* antara lain melalui kegiatan penjatuhan jangkar kapal terbesar.
- Pengembangan pipa yang memotong alur pelayaran penempatannya tidak boleh ditempatkan pada tikungan alur pelayaran.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang terjadi pada jalur pipa gas Gendalo dan Gehem yang melewati area labuh jangkar adalah:

1. Bagaimana mengidentifikasi bahaya yang berpotensi pada jalur pipa Gendalo-Gehem di daerah labuh jangkar?
2. Bagaimana analisis frekuensi akibat bahaya sesuai DNV-RP-F107?
3. Bagaimana analisis konsekuensi akibat bahaya sesuai DNV-RP-F107 dan DNV-RP-F111?
4. Bagaimana menentukan level risiko yang mungkin terjadi sesuai DNV-RP-F107?
5. Bagaimana hasil pemodelan dan simulasi dengan *software* AutoPipe?
6. Bagaimana rekomendasi mitigasi dari risiko yang terjadi dalam *acceptance criteria*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam analisis rumusan permasalahan di atas diperlukan untuk lebih memfokuskan bahasan dalam skripsi ini. Batasan masalah yang akan dibahas, sebagai berikut:

1. Objek Penelitian adalah jalur pipa Gendalo-Gehem di sepanjang area labuh jangkar *anchorage area A* (**gambar 1**).
2. Identifikasi bahaya, menganalisis frekuensi dan konsekuensi pada jalur pipa gas sesuai DNV-RP-F107.

3. Merekomendasikan mitigasi sesuai hasil *risk assessment*.
4. Variasi diameter pipa berdasarkan data penggelaran pipa (**Tabel 3**) dan disertai skenario pemendaman pipa.
5. Kejadian alam tidak dipertimbangkan.

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah:

1. Mengidentifikasi bahaya yang berpotensi terjadi pada jalur pipa gas Gendalo-Gehem di sepanjang area labuh jangkar.
2. Analisis frekuensi dan konsekuensi berdasarkan DNV-RP-F107.
3. Menentukan level risiko terhadap jalur pipa gas Gendalo-Gehem di sepanjang area labuh jangkar sesuai DNV-RP-F107.
4. Melakukan pemodelan dan simulasi terhadap *load stress* dengan menggunakan *software* Autopipe.
5. Merekomendasikan mitigasi yang akan dilakukan apabila risiko berada pada level yang tidak dapat diterima (*High Risk*).

1.5 Manfaat Penulisan

Dari tugas akhir ini diharapkan akan memberikan manfaat bagi berbagai pihak yang membutuhkan. Adapun manfaat yang akan diperoleh antara lain:

1. Mengetahui peta risiko pada jalur pipa di daerah labuh jangkar.
2. Untuk perusahaan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan keputusan terkait identifikasi bahaya yang mungkin terjadi terhadap pipa gas.
3. Merekomendasikan mitigasi dengan mengontrol frekuensi dan konsekuensi jalur pipa.
4. Bisa menjadi media pembelajaran bagi pembaca terkait penilaian risiko pada jalur pipa gas.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pipeline merupakan media yang didesain untuk dapat mengalirkan fluida dalam kapasitas, suhu, tekanan dan kondisi fluida tertentu (ASME B31.4 dan ASME B31.8). Selain itu, *pipeline* merupakan media tertutup yang dirancang agar dapat tahan terhadap bahaya dari internal dan eksternal pipa sesuai *code* yang dipakai. Medan yang dilewati pipa pun juga cukup beragam mengikuti kontur permukaan bumi, entah itu di permukaan tanah atau di permukaan *seabed* di dasar laut. Untuk itu, bahaya yang mungkin terjadi pada pipa sangat besar dan kemungkinan terjadi bahaya seperti kebakaran dan ledakan juga bisa terjadi. *Crack*, *fatigue*, *corrosion* dan *stress* yang terjadi pada pipa patut dipertimbangkan karena bahayanya yang secara langsung maupun tidak langsung akan berdampak pada lingkungan dan manusia.

Kelebihan penggunaan *pipeline* sebagai sarana transportasi dan distribusi sumber daya *hydrocarbon* bahwa *pipeline* bisa menyalurkan dengan lebih cepat dan efisien sesuai karakter fluida dan jarak tertentu. Oleh karena itu, *pipeline* banyak digunakan untuk pengembangan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas di lepas pantai. Termasuk untuk distribusi *hydrocarbon* dari ladang atau sumur menuju ke stasiun penerima dan stasiun produksi.

2.2 Penilaian Risiko (Risk Assessment)

Penilaian risiko adalah sebuah metode yang digunakan untuk menilai tingkat bahaya dan risikonya yang mungkin terjadi dari suatu objek. Dalam setiap proses FEED (*Front End Engineering Design*) sampai operasional pipa. Penilaian risiko biasa dilakukan untuk mengetahui kemungkinan risiko yang terjadi di setiap kejadian. Tahapan awal dari proses penilaian risiko adalah mengidentifikasi bahaya dari setiap kemungkinan yang akan berdampak pada lingkungan, keselamatan, keamanan manusia,

proses eksplorasi maupun produksi. Setelah identifikasi bahaya, maka yang akan dianalisis adalah seberapa sering atau frekuensi bahaya tersebut kemungkinan terjadi. Hal berikutnya yang dilakukan adalah analisis konsekuensi yang bisa terjadi dari setiap bahaya. Hasil akhir dari penilaian risiko adalah evaluasi risiko, dimana:

$$\text{Risk} = (\text{Event likelihood}) \times (\text{Event consequence})$$

Aplikasi dari evaluasi risiko adalah *risk matrix* dimana nantinya akan diketahui letak kondisi pipa, apakah memenuhi *acceptance criteria* atau tidak. Jika tidak maka harus dilakukan mitigasi untuk mengurangi dampak konsekuensi dan memberikan proteksi lebih. Mitigasi dilakukan sampai risiko akhir bisa di bawah *acceptance criteria*.

Dalam tugas akhir ini, standar yang digunakan adalah DNV-RP-F107 tentang *Risk Assessment of Pipeline Protection*. Disini akan mengacu pada identifikasi bahaya terhadap *ship sinking*, *drop anchor* dan *drag anchor*. Untuk konsekuensi terhadap pipa, penelitian ini menggunakan DNV-RP-F111 tentang *impact*, *pull over* dan *hooking*. Metode ini dilakukan untuk mengidentifikasi kejadian *eksternal* yang berpotensi mengganggu operasional pipa. Tujuan utamanya adalah mengevaluasi dampak kerusakan pipa dan bagaimana langkah-langkah untuk mencegah dan mengatasi risiko yang lebih efektif.

2.2.1 Hazard Identification

Identifikasi bahaya adalah tahap yang sangat penting dalam penilaian risiko. Hal ini terkait dengan hubungannya dengan analisis konsekuensi yang akan dilakukan. Identifikasi bahaya ini harus dilakukan dengan mempertimbangkan semua kejadian yang bisa menimbulkan kerugian. Contoh identifikasi bahaya bisa dilihat pada **Tabel 2.1**:

Tabel 2. 1 Tabel Identifikasi Bahaya (*Potential External Hazard*), DNV-RP-F107

Operasi/Aktivitas	Bahaya	Kemungkinan Kerusakan pada Pipa
Instansi pipa	Menjatuhkan dan menyeret jangkar atau rantai jangkar dari <i>pipe lay vessel</i> Hilangnya tegangan, kejatuhan pipa	Kerusakan akibat tubrukan Kerusakan pada pipa atau kabel Kerusakan akibat tubrukan
Instalasi risers, modules, dll (beban berat)	Kerusakan selama penggalianm instalasu perlindungan penutup Kerusakan selama konstruksi persimpangan Menjatuhkan objek	Kerusakan akibat tubrukan Kerusakan akibat tubrukan
Peletakan jangkar (<i>Rig dan operasi lay vessel</i>)	Menjatuhkan jangkar, kerusakan rantai jangkar, dll Menyeret jangkar Menyeret rantai jangkar	Kerusakan akibat tarikan dan abrasi Kerusakan akibat tubrukan Kerusakan akibat kaitan dan tubrukan Kerusakan akibat terkait dan tubrukan
Aktivitas mengangkat (aktivitas <i>Rig</i> dan <i>platform</i>) Operasi bawah laut (operasi bersamaan)	Menjatuhkan objek ke laut Tubrukan ROV Kegagalan manuver selama pemasangan/pembongkaran peralatan	Kerusakan akibat tubrukan Kerusakan akibat tubrukan Kerusakan akibat tarikan dan abrasi
Aktivitas pukat	Tubrukan, tarikan dan kaitan pukat	Kerusakan akibat tubrukan dan tarikan
Lalu lintas <i>tanker</i>, <i>supply vessel</i> dan kapal komersial	Tabrakan kapal Menjatuhkan jangkar dalam keadaan darurat Kapal tenggelam	Kerusakan akibat tubrukan Kerusakan akibat tubrukan, kaitan Kerusakan akibat tubrukan

2.2.2 *Frequency Assessment*

Penilaian terhadap frekuensi adalah proses perhitungan berdasarkan data dari lapangan tentang kejadian, data lalu lintas kapal, data operasional, jenis dan tipe kapal. Selain data yang

dimiliki, penilaian frekuensi juga bisa dilakukan dengan observasi secara langsung dan perkiraan atau prediksi dengan berdasar data kejadian. Penilaian frekuensi ini menggunakan fungsi waktu untuk mengetahui kemungkinan terjadinya risiko yang berpotensi.

Tahapan perhitungan ini berawal dari identifikasi bahaya. Jika identifikasi bahaya sudah dilakukan, maka dari kejadian-kejadian identifikasi tersebut dihitung jumlah kejadian per tahun. Sebagai contoh adalah data lalu lintas kapal disertai ukuran, jumlah dan jenis kapal yang sedang atau pernah berada di daerah lego jangkar dalam waktu misalnya satu tahun. Dari data lalu lintas kapal itu, bisa didapatkan peluang kegagalan pipa akibat aktivitas jangkar dari kapal-kapal tersebut. yang dalam hal ini, aktivitas jangkar yang dimaksud adalah *impact*, *pull over* dan *hooking*.

2.2.3 *Consequence Assessment*

Konsekuensi dari setiap bahaya berdasarkan identifikasi bahaya sangat penting dalam penilaian risiko. Penilaian konsekuensi sangat erat kaitannya dengan dampak yang diakibatkan dari potensi bahaya. Seperti korban jiwa, kebakaran, kerusakan lingkungan, dampak pada material dan biaya yang dikeluarkan. Hasil dari penilaian konsekuensi bisa berupa data kualitatif dan kuantitatif.

Setiap identifikasi bahaya pasti akan menghasilkan kemungkinan konsekuensi bahaya yang terjadi pada objek pipa. Sesuai DNV-RP-F111, konsekuensi yang mungkin terjadi pada pipa adalah *impact*, *pull over* dan *hooking*. Peluang konsekuensi untuk jangkar yang dapat menyebabkan kegagalan pada pipa juga dinilai berdasarkan frekuensi aktivitas kapal. Jika nilai konsekuensi akibat jangkar pada pipa berada diatas daerah ALARP (*As Low As Reasonably Applicable*), maka mitigasi yang tepat perlu dilakukan. Sebagai contoh mitigasi pada pipa adalah penanaman pipa, *concrete mattress* dan lain-lain. Jika penanaman pipa tidak diperlukan, untuk memastikan integritas jalur pipa yang telah dirancang, umumnya mitigasi tambahan dalam bentuk

penanda jalur pipa, *buoy* dan tanda peringatan dianggap sangat diperlukan.

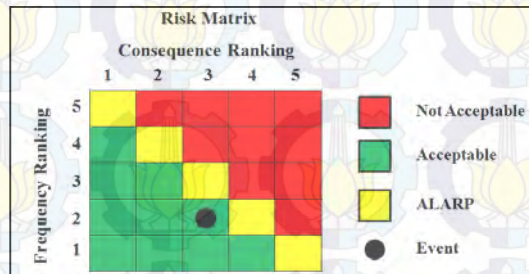
2.2.4 Risk Evaluation

Evaluasi risiko ini menggabungkan antara frekuensi risiko dan konsekuensinya. Dimana biasanya evaluasi ini digambarkan dengan *risk matrix*. Dan setelah semua data dianalisis, maka hasil akhirnya akan terlihat bahwa setiap bahaya yang terjadi terletak apakah di zona dapat diterima, ALARP dan tidak dapat diterima.

Objek dalam evaluasi risiko ini adalah jalur pipa yang melewati daerah labuh jangkar. Dengan kata lain, semua risiko yang berkaitan dengan kegiatan dan lalu lintas kapal di daerah labuh jangkar dievaluasi akibatnya pada jalur pipa. Dimana tingkat risikonya digambarkan dengan *risk matrix*.

2.3 Standard Det Norske Veritas (DNV)

Dalam kajian ini digunakan standar DNV-RP-F107 “*Risk Assessment of Pipeline Protection*”. Untuk lebih jelasnya mengenai proses *risk assessment* dapat dilihat di **gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Risk Matrix DNV-RP-F107

Daerah ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) mengidentifikasi daerah dimana risiko masih dapat diterima, bagaimanapun selanjutnya pengurangan dari risiko harus diikuti dengan evaluasi *Cost-Benefit*. Jika estimasi risiko berada di atas

kriteria relevan yang dapat diterima, maka pengurangan risiko dapat dicapai dengan :

1. Mengurangi frekuensi dari kejadian
2. Mengurangi konsekuensi dari kejadian, atau
3. Sebuah kombinasi dari keduanya.

Dalam masing-masing proyek, risiko harus dijaga serendah mungkin (ALARP). Artinya bahwa beberapa pengurangan risiko dengan biaya yang rendah harus diperkenalkan meskipun risiko dapat diterima. Perhitungan pengurangan frekuensi harus diprioritaskan sebelum perhitungan pengurangan konsekuensi dalam melakukan pengurangan risiko.

2.3.1 Rangking Frekuensi

Pada DNV-RP-F107 ditunjukkan bahwa untuk merangking perkiraan frekuensi dapat menggunakan tabel rangking frekuensi seperti **tabel 2.2** dibawah ini:

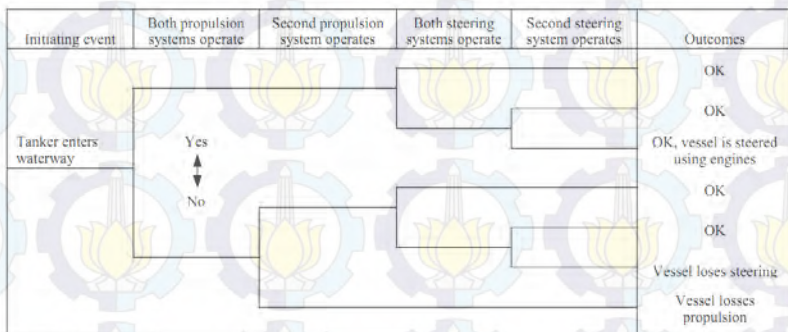
Tabel 2. 2 Rangking Frekuensi DNV-RP-F107

Rangking	Deskripsi	Frekuensi Tahunan
1	Frekuensi sangat rendah dimana kejadian dapat diabaikan.	$<10^{-5}$
2	Kejadian diperkirakan jarang terjadi.	$10^{-4} > 10^{-5}$
3	Kejadian secara individu tidak diperkirakan terjadi, tapi ketika diringkaskan melebihi jumlah yang besar dari saluran pipa dipercayakan terjadi sekali dalam setahun.	$10^{-3} > 10^{-4}$
4	Kejadian secara individu mungkin diperkirakan terjadi sekali selama usia saluran pipa.	$10^{-2} > 10^{-3}$
5	Kejadian secara individu mungkin diperkirakan terjadi lebih dari sekali selama usia saluran pipa.	$>10^{-2}$

2.3.1.1 Event Tree Analysis

ETA (Event Tree Analysis) menggunakan pohon keputusan ke dalam bentuk bagan dimana menggambarkan model hasil yang mungkin terjadi dari suatu peristiwa. Metodologi ini menyediakan dua *output* data, deskripsi potensi masalah yang bersifat *qualitative* (kombinasi potensi kegagalan yang dihasilkan dari kejadian awal) dan *quantitative* (estimasi frekuensi kejadian dari urutan penyebab kegagalan). ETA bisa digunakan untuk menganalisis hampir setiap urutan kejadian kegagalan, tapi akan sangat efektif apabila digunakan untuk mengurutkan hasil atau konsekuensi dari suatu kejadian awal, **gambar 2.2**.

Example Event Tree Analysis



Gambar 2. 2 Contoh ETA dari *losses propulsion of vessel*

2.3.2 Rangking Konsekuensi

Pada DNV-RP-F107 juga telah ditentukan tabel untuk merangking penilaian konsekuensi seperti yang ditunjukkan pada **tabel 2.3**. Kerusakan material pada saluran pipa diklasifikasikan dengan kategori sebagai berikut :

- *Minor Damage* (D1): kerusakan yang tidak membutuhkan perbaikan, dan juga tidak menghasilkan pelepasan hidrokarbon. Penyok yang lebih kecil pada dinding pipa baja, misalnya hingga 5% dari diameter, umumnya tidak memiliki dampak yang langsung

terhadap operasi dari jalur pipa. Batas ini bisa bervariasi dan harus dievaluasi untuk setiap pipa. Yang perlu dicatat, jika terjadi kerusakan kemudian pemeriksaan dan evaluasi teknis harus dilakukan.

- *Moderate Damage* (D2): kerusakan yang membutuhkan perbaikan, tetapi tidak menyebabkan pelepasan hidrokarbon. Ukuran penyok memerlukan pemeriksaan *internal* (misalnya lebih dari 5% dari diameter untuk saluran pipa baja).
- *Major Damage* (D3): kerusakan yang menyebabkan pelepasan hidrokarbon atau air, dll. Jika dinding pipa retak atau saluran pipa pecah, operasi saluran pipa harus dihentikan sesegera mungkin dan saluran diperbaiki. Bagian yang rusak harus dipindahkan dan diganti.

Dalam kasus kerusakan yang menyebabkan pelepasan (D3), klasifikasi pelepasan berikut digunakan :

- *No Release* (R0): tidak ada pelepasan gas hidrokarbon.
- *Small Release* (R1): pelepasan dari lubang yang kecil hingga menengah pada dinding pipa. Saluran pipa mungkin melepaskan jumlah sebagian kecil dari isinya hingga terdeteksi baik oleh penurunan tekanan atau secara visual.
- *Major Release* (R2): pelepasan gas dari saluran pipa yang pecah. *Full rupture* akan menyebabkan pelepasan total dari volume saluran pipa dan akan berlanjut hingga saluran pipa diisolasi.

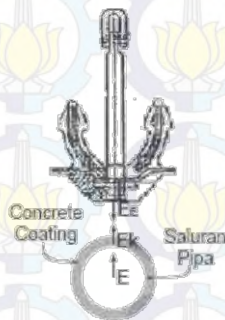
Kategori kerusakan digunakan untuk evaluasi ekonomis, dimana kategori pelepasan sebagai tambahan digunakan untuk memperkirakan risiko untuk keselamatan manusia dan dampak terhadap lingkungan. Kategori pelepasan dipusatkan untuk keselamatan manusia dan untuk evaluasi keselamatan lingkungan. Klasifikasi dari kegagalan yang berbeda ke dalam kategori ini bergantung terhadap jenis saluran, misalnya pipa baja atau fleksibel *risers*, dan jenis perlindungan.

Tabel 2. 3 Rangkang Konsekuensi, DNV-RP-F107

Dent/ Diameter (%)	Damage Description	Conditional Probability					
		D1	D2	D3	R0	R1	R2
< 5	Minor Damage	1.0	0	0	1.0	0	0
5 - 10	Major Damage	0.1	0.8	0.1	0.9	0.1	0
10 - 15	Leakage Anticipated Major Damage	0	0.75	0.25	0.75	0.2	0.05
15 - 20	Leakage and Rupture Anticipated Major Damage Leakage and Rupture Anticipated	0	0.25	0.75	0.25	0.5	0.25
> 20	Rupture	0	0.1	0.9	0.1	0.2	0.7

2.3.3 Analisis Risiko Akibat *Dropped Anchor*

E_E adalah Energi Kinetik Efektif jangkar pada saat membentur lapisan saluran pipa. E_K adalah energi kinetik yang dapat diredam lapisan *concrete* dari kejatuhan jangkar. Sedangkan E adalah besarnya energi yang diterima saluran pipa dari kejatuhan jangkar yang menyebabkan saluran pipa mengalami penyok (*denting*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **gambar 2.3**.

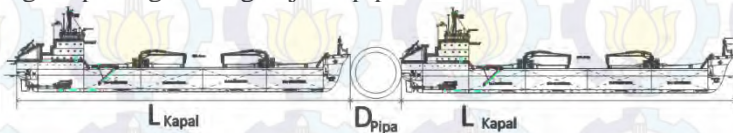
**Gambar 2. 3 Energi pada Pipa dan Jangkar**

Critical Anchor Damage Zone (CADZ) adalah daerah kritis untuk penurunan jangkar kapal. Daerah CADZ ini mempunyai lebar dua kali lebar jangkar ditambah diameter pipa terluar atau sama dengan $2B + D$. Dimana B adalah lebar jangkar dan D adalah diameter terluar saluran pipa setelah ditambah dengan tebal lapisan pipa (*concrete*), sesuai **gambar 2.4**. Kapal seharusnya memang tidak melintas di daerah CADZ, tapi mungkin karena suatu hal misal kemudi mengalami kerusakan atau kapal akan mengalami tabrakan. Untuk itu perlu dilakukan sebuah perkiraan risiko pada jalur pipa akibat penurunan jangkar kapal.



Gambar 2. 4 CADZ (Critical Anchor Damage Zone)

CSZ (Critical Ship Zone) adalah area kritis jalur pipa yang dilewati oleh kapal, dimana pada daerah tersebut sangat dihindari aktivitas kapal yang padat. Daerah CSZ merupakan dua kali panjang kapal ditambah dengan diameter terluar pipa, termasuk ketebalan *coating* pipa, **gambar 2.5**. Jalur pipa memang dimungkinkan untuk berpotongan dengan jalur lalu lintas kapal. Hal tersebut sangat berbahaya mengingat potensi bahaya kapal tenggelam akibat bertubrukan dengan kapal lain misalnya dan kapal tenggelam tersebut jatuh mengenai jalur pipa. Untuk itu, daerah CSZ diperlukan untuk mengurangi frekuensi aktivitas kapal yang berpotongan dengan jalur pipa.



Gambar 2. 5 CSZ (Critical Ship Zone)

Besarnya energi tubrukan dari masing-masing rangking konsekuensi sesuai dengan **tabel 2.3** diatas tergantung dari spesifikasi bahan saluran pipa yang dapat dihitung dengan persamaan DNV-RP-F107, Eq. 3 berikut.

$$E = 16 \times \left(\frac{2\pi}{9}\right)^{1/2} \times m_p \times \left(\frac{D}{t}\right)^{1/2} \times D \times \left(\frac{\delta}{D}\right)^{3/2} \quad (2.1)$$

Dimana :

m_p = Momen dinding pipa

$$= \frac{1}{4} \times \sigma_y \times t^2$$

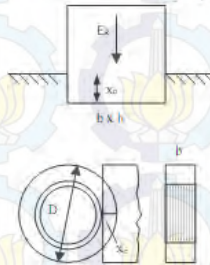
δ = Kedalaman pipa penyok (meter)

t = Tebal dinding pipa (meter)

σ_y = *yield strenght* (N/m²)

D = Diameter luar pipa (meter)

Kemudian energi yang dapat direndam lapisan pipa (*concrete*) adalah fungsi dari volume benda dan *crushing strenght*, sesuai **gambar 2.6**. Hal tersebut ditunjukkan pada persamaan DNV-RP-F107, Eq. 4 berikut.



Gambar 2. 6 Contoh pembebanan (Figure 5, DNV-RP-F107)

$$Ek = Y \times b \times h \times X_0 \quad (2.2)$$

Dimana :

Y = Tekanan lapisan pipa (N/m²), sebesar 3-5 kali *cube strenght* untuk berat jenis lapisan normal, atau 5-7 kali *cube strenght* untuk berat jenis lapisan ringan. *Cube strenght* sebesar 35 – 45 Mpa.

b = Lebar dari luasan benda yang menubruk lapisan pipa

h = Panjang dari luasan benda yang menubruk lapisan pipa
 X_o = Tebal lapisan pipa

Nilai E_k ini kemudian ditambahkan pada masing-masing batas energi yang diterima saluran pipa untuk setiap persentase *dent/diameter*, sehingga didapatkan batasan energi yang diterima pipa berdasarkan rangking konsekuensi pada DNV-RP-F107.

Menghitung energi yang dihasilkan jangkar dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama adalah menghitung kecepatan jatuhnya jangkar dengan persamaan DNV-RP-F107, Eq. 13 berikut:

$$m - (V \times \rho_{water}) \times g = \frac{1}{2} \rho_{water} \times C_D \times A \times V_T^2 \quad (2.3)$$

Dimana :

m = Berat jangkar, (kg)

g = Kecepatan gravitasi, (9.81 m/s²)

V = Volume jangkar, (m³)

ρ_{water} = Berat jenis air laut, (1025 kg/m³)

C_D = Koefisien *Drag* jangkar

A = Proyeksi luasan jangkar, (m²)

V_T = Kecepatan jatuhnya jangkar, (m/s)

Untuk koefisien *drag* dapat dilihat pada **tabel 7** sesuai dengan DNV-RP-F107.

Tabel 2. 4 Drag Coefficient, DNV-RP-F107

Cat. No.	Description	C_D	C_A
1,2,3	<i>Slander Shape</i>	0.7-1.5	0.1-1.0
4,5,6,7	<i>Box Shaped</i>	1.2-1.3	0.6-1.5
All	<i>Misc. shapes (spherical to complex)</i>	0.6-2.0	1.0-2.0

Kemudian menghitung Energi Kinetik Efektif (E_E) dari jangkar dengan persamaan DNV-RP-F107, Eq. 16 :

$$E_E = \frac{1}{2} (m + m_a) \times V_T^2 \quad (2.5)$$

Dimana :

m_a = berat tambahan, (kg)

$$= \rho_{\text{water}} \times C_a \times V$$

C_a = Koefisien *drag* berat tambahan

Cara kedua adalah menghitung energi kinetik terminal dengan mengkombinasi persamaan energi kinetik efektif dengan persamaan DNV-RP-F107, Eq. 14 dibawah ini.

$$E_T = \frac{1}{2} m \times V_T^2 \quad (2.6)$$

Dari persamaan diatas, didapatkan DNV-RP-F107, Eq. 15 berikut.

$$E_T = \left(\frac{m \times g}{C_d \times A} \right) \times \left(\frac{m}{\rho_{\text{water}}} - V \right) \quad (2.6)$$

Dimana :

m = berat jangkar, (kg)

g = kecepatan gravitasi, (9.81 m/s²)

V = volume jangkar, (m³)

ρ_{water} = Berat jenis air laut, (1025 kg/m³)

C_D = Koefisien *Drag* jangkar

A = Proyeksi luasan jangkar, (m²)

V_T = Kecepatan jatuhnya jangkar, (m/s)

Dari hasil perhitungan E_E dari masing-masing kelompok kapal, dapat diketahui kelompok kapal tersebut masuk ke dalam rangking penilaian konsekuensi sesuai dengan tabel 6 mengenai rangking konsekuensi.

2.3.4 Analisis Risiko Akibat *Dragged Anchor*

i. Gaya yang Bekerja pada Jangkar

Sesuai dengan DNV-RP-F111 tentang *Interference Between Trawl Gear and Pipelines*, maka dalam skripsi ini akan dijelaskan pengaruh yang sama dengan objek jangkar. Dan Dalam penilaian risiko akibat terseret jangkar akan dihitung energi yang dihasilkan

oleh jangkar yang terdiri dari *impact load*, *pull over load* dan *hooking load*. Dari perhitungan total akibat gaya yang bekerja pada jangkar, bisa didapat perhitungan berikut:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{impact}} + E_{\text{pull-over}} + E_{\text{hooking}}$$

Kemudian dihitung energi yang dihasilkan oleh mesin kapal dan rantai jangkar. Pada perhitungan energi tarikan kapal dilakukan dua perhitungan, yaitu diasumsikan dengan menggunakan daya *engine* kapal dan daya dari *windlass*. Untuk perhitungan *pull-over* kecepatan dari kapal divariasikan pada kecepatan 2 knot, 4 knot dan 6 knot.

a. *Impact*

Untuk energi yang diserap selama *impact* terjadi dapat dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 3.1 di bawah ini :

$$E_s = R_{fs} \times \frac{1}{2} \times m_t (C_h \times V)^2 \quad (2.7)$$

Dimana :

E_s = Energi tubrukan (kJ)

R_{fs} = Masa baja terkait

m_t = Masa baja jangkar (kg)

C_h = Koefisien kecepatan

V = Kecepatan (m/s)

Untuk gaya *impact* yang disebabkan oleh *hydrodynamics added mass* dapat dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 3.2 di bawah ini.

$$F_b = C_h \times V \times \sqrt{m_a \times k_b}$$

Dimana :

F_b = Gaya tubrukan (kN)

C_h = Koefisien kecepatan

V = Kecepatan (m/s)

m_a = Masa hidrodinamik jangkar (kg)

k_b = Kekuatan lentur jangkar (MN/m)

Yang mana pada DNV-RP-F111 memberikan persamaan untuk menghitung energi yang dihasilkan oleh *hydrodynamics added mass* (dibatasi oleh energi maximum yang ada) seperti pada persamaan DNV-RP-F111, Eq. 3.3 dibawah ini.

$$E_a = R_{fa} \times \frac{2(F_b)^3}{75 \times f_y^2 \times t^3} \leq \frac{1}{2} m_a (C_h \times v)^2$$

Dimana :

E_a = Energi tubrukan akibat tambahan masa hidrodinamik

R_{fa} = Masa tambahan asosiasi

F_b = Gaya akibat tubrukan (kN)

C_h = Koefisien kecepatan

V = Kecepatan (m/s)

m_a = Masa hidrodinamik jangkar (kg)

f_y = SMYS (N/m²)

Maka *absorbed* energi diambil dari nilai yang terbesar diantara E_s dan E_a .

b. Pull-Over

Untuk *dimensionless height* dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 4.6 seperti di bawah ini.

$$\bar{H} = \frac{H_{sp} + OD/2 + 0.2}{B}$$

Dimana :

H = Dimensi Tinggi (m)

H_{sp} = Tinggi span (jarak pipa ke dasar laut)

OD = Diameter pipa keseluruhan (m)

B = Setengah dari tinggi (m)

Untuk *empirical force coefficient* dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 4.9 dibawah ini.

$$k_w = \frac{3.5 \times 10^7}{L_w}$$

Dimana :

k_w = Warp line stiffness (N/m)

L_w = Warp line length (m)

Untuk *maksimum pull-over force* dapat dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 4.3 seperti di bawah ini.

$$F_p = C_f \times V \times [(m_t + m_a) \times k_w]^{1/2}$$

Dimana :

F_p = Gaya tarikan maksimum (kN)

C_f = Koefisien gaya empiris

V = Kecepatan (m/s)

k_w = Warp line stiffness (N/m)

m_t = Masa baja jangkar (kg)

Untuk *corresponding maximum downward acting force* dapat dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq.4.10 seperti di bawah ini.

$$F_z = F_p (0.2 + 0.8 \times e^{-2.5\bar{H}})$$

Untuk *pull-over duration* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 4.20 seperti di bawah ini.

$$T_p = C_T \times C_F \left(\frac{m_t}{k_w} \right)^{1/2} + \frac{\delta_p}{V}$$

Maka besarnya energi yang bekerja pada saat *pull-over* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti di bawah ini.

$$E = F_z \times S \quad (2.8)$$

Dimana :

$$S = V \times t$$

c. Hooking

Untuk *maksimum lifting height* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan DNV-RP-F111, Eq.5.4 sebagaimana dijelaskan dibawah ini :

$$H_l = 0.7B - 0.30D$$

Maka besarnya energi yang bekerja pada saat *hooking* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} E &= E_p + E_k \\ &= (m_a \times g \times H_l) + (0.5 m_a \times v^2) \end{aligned} \quad (2.9)$$

Karena energi yang bekerja pada jangkar terhadap pipa merupakan gabungan antara *impact*, *pull-over*, dan *hooking* maka total energinya merupakan penjumlahan dari ketiganya seperti pada persamaan dibawah ini.

ii. Gaya yang Bekerja Akibat Daya Kapal

Kemudian dihitung energi yang dihasilkan oleh mesin kapal dan rantai jangkar. Pada perhitungan energi tarikan kapal dilakukan dua perhitungan, yaitu diasumsikan dengan menggunakan daya engine kapal dan daya dari *windlass*.

a. Perhitungan dengan Menggunakan Daya Main Engine Kapal

Berikut adalah tahapan-tahapan untuk menghitung besarnya *thrust* kapal dengan cara menghitung maju dari BHP MCR sampai didapatkan besarnya *thrust* :

$$\begin{aligned} PB\ SCR &= PB\ MCR \times 0.85 \\ SHP &= PB\ SCR \times 0.98 \\ DHP &= SHP \times 0.98 \\ T &= thrust\ deduction\ factor \\ t_{standard} &= 0.5CP - 0.12CP\ (for\ single\ propeller) \\ CP &= \left(\frac{VolumeDisplacement}{L \times B \times T \times C_m} \right) \\ &= \left(\frac{L \times B \times T \times C_b}{L \times B \times T \times C_m} \right) \\ &= \frac{C_b}{C_m} \end{aligned}$$

Dari buku *Principle of Naval Architecture* (W.A.Taylor) :
 $w\ (C_b=0.61) = 0.243$

$$\begin{aligned}
 \frac{PC}{\eta H} &= \eta H \times \eta_{rr} \times \eta_p \\
 &= \text{hull efficiency} \\
 &= \frac{(1-t)}{(1-w)} \\
 \eta_{rr} &= \text{relative rotative efficiency} \\
 &= 1.04 \\
 \eta_p &= \text{propulsive efficiency} \\
 &= 0.6 \\
 EHP &= DHP \times PC \\
 EHP &= R \times V_s \\
 R &= \frac{EHP}{V_s}
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya *thrust* adalah :

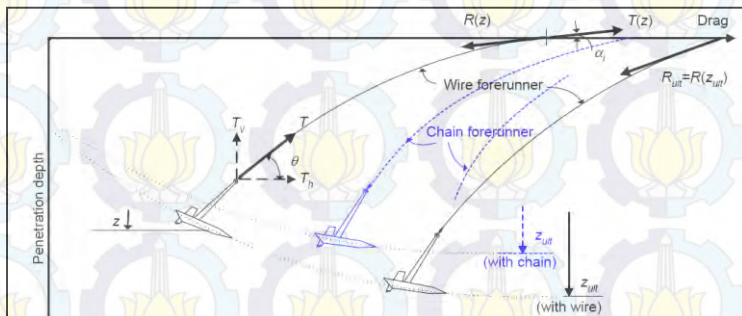
$$T = \frac{R}{(1-t)} \quad (2.10)$$

iii. Gaya yang Bekerja pada Rantai Jangkar

Gaya yang bekerja pada rantai jangkar adalah gaya yang terjadi saat jangkar ditarik ke atas kapal. Jadi gaya rantai jangkar ini adalah gaya yang terjadi akibat ayunan jangkar, karena rantai dan jangkar juga mempunyai berat sehingga ayunan dari jangkar mempunyai gaya yang juga harus dihitung untuk penilaian risiko pada pipa. Gambaran lebih jelas bisa dilihat pada **gambar 2.7**.

T_v = Berat rantai jangkar (N)

$$F_{\text{rantai}} = T = \frac{T_v}{\sin \theta}$$



Gambar 2. 7 Gaya yang bekerja pada saat tarikan jangkar

iv. Total Gaya yang Bekerja pada Pipa

Untuk menghitung gaya yang bekerja terhadap pipa menggunakan persamaan berikut ini :

$$F_{\text{total}} = F_{\text{jangkar}} + F_{\text{thrust kapal}} + F_{\text{rantai}}$$

Sehingga besarnya energi total yang bekerja terhadap pipa merupakan fungsi dari total gaya yang bekerja terhadap pipa dikalikan dengan jaraknya terhadap pipa dan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$E_{\text{total}} = F_{\text{total}} \times s$$

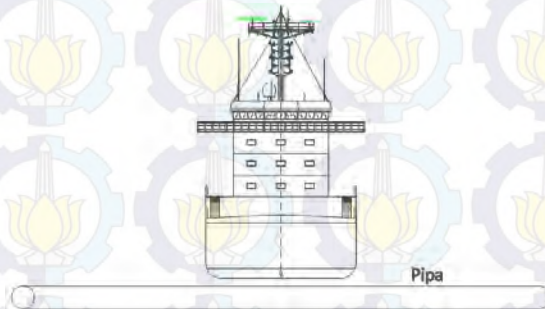
2.3.5 Penilaian Risiko Akibat *Sinking Vessels*

Pada penilaian risiko akibat *sinking vessels* diasumsikan bahwa kapal tenggelam secara perlahan pada posisi horisontal dan menimpa pipa. Dengan demikian beban akibat tenggelamnya kapal terhadap pipa gas adalah sebuah *quasi-static load* yang hanya diakibatkan oleh berat dari kapal itu sendiri. Kapal diasumsikan memiliki densitas 7850 kg/m^3 (baja) dan diasumsikan tidak ada udara yang terjebak di dalam kapal yang membuat berat kapal menjadi lebih besar.

Dalam perhitungan *sinking vessels* akan dicari energi yang diterima pipa ketika kapal menimpa pipa pada posisi beban merata seperti pada **gambar 2.8** dan beban merata seperti **gambar 2.9** dibawah ini.



Gambar 2. 8 Beban Merata Kapal



Gambar 2. 9 Beban Terpusat Kapal

Untuk menghitung energi yang diterima pipa ketika menerima beban terpusat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini.

$$E = Ek - (w \times dm \text{ terpusat})$$

Dimana :

E = Energi yang diterima pipa (KJ)

Ek = Energi yang dihasilkan kapal (KJ)

$$= \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

w = Berat kapal (N)

dm = Deformasi maksimal (m)

$$= - \frac{PL^3}{48EI}$$

Sedangkan untuk menghitung energi yang diterima pipa ketika menerima beban merata dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini.

$$E = Ek - (w \times dm \text{ merata})$$

Dimana :

E = Energi yang diterima pipa (KJ)

Ek = Energi yang dihasilkan kapal (KJ)

$$= \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

w = Berat kapal (N)

dm = Deformasi maksimal (m)

$$= - \frac{5wL^4}{384EI}$$

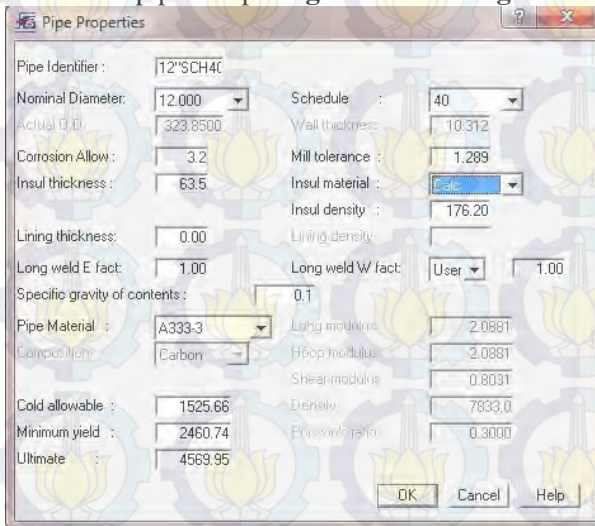
2.4 Software Autopipe

Finite Element adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi *matrix* untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Metode lain yang adalah metode analitik, yang untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Semakin rumit perilaku fisiknya (karena kerumitan bentuk geometri, banyaknya interaksi beban, *constrain*, sifat material dan lain-lain). Maka semakin sulit atau bahkan mustahil di bangun suatu model matematik yang bisa mewakili permasalahan tersebut. Alternatif metodenya adalah dengan cara membagi kasus tadi menjadi bagian-bagian kecil yang sederhana yang mana pada bagian kecil tersebut kita bisa membangun model matematik dengan lebih sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan. Metode ini dikenal sebagai metode elemen hingga, karena kita membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu (*finite*) untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya jumlah elemennya adalah tidak berhingga (kontinum). (Putra, Iriansyah, 2011).

Finite Element Method (FEM) atau Metode Elemen Hingga dewasa ini telah menjadi bagian tak terpisahkan dari solusi numerik di dunia teknik rekayasa. FEM diaplikasikan secara luas mulai dari analisis *stress* (tegangan) dan deformasi (perubahan bentuk) pada bidang struktur bangunan, jembatan, penerbangan, dan otomotif, sampai pada analisis aliran fluida, perpindahan panas, medan magnet, dan masalah non-struktur lainnya.

Autopipe adalah program *pipe stress analysis* untuk menghitung *code stress* pipa, beban, dan defleksi baik untuk kondisi pembebanan statik dan pembebanan dinamik. Salah satu contoh manfaat dari *software* ini adalah untuk memastikan *stress* yang dialami sistem perpipaan tidak melebihi stress yg diijinkan *code & standard*, mengevaluasi beban di *nozzle equipment* tidak melebihi *allowable nozzle load*, mengecek defleksi pipa tidak

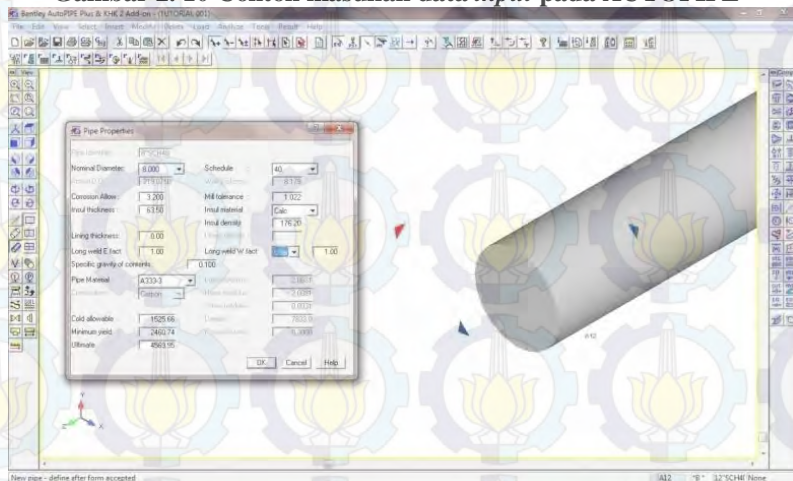
menyebabkan interefensi dengan pipa yg lain. Contoh gambaran dari *software* Autopipe ada pada **gambar 10** dan **gambar 11**:



Pipe Properties	
Pipe Identifier :	12"SCH40
Nominal Diameter:	12.000
Actual O.D.:	323.8500
Corrosion Allow :	3.2
Insul thickness :	63.5
Lining thickness:	0.00
Long weld E fact:	1.00
Specific gravity of contents :	0.1
Pipe Material :	A333-3
Composition:	Carbon
Cold allowable :	1525.66
Minimum yield :	2460.74
Ultimate :	4569.95
Schedule :	40
Wall thickness :	10.312
Mill tolerance :	1.289
Insul material :	Calc
Insul density :	176.20
Lining density :	
Long weld W fact:	User
	1.00
Long modulus :	2.0881
Hoop modulus :	2.0881
Shear modulus :	0.8031
Density :	7833.0
Poisson's ratio :	0.3000

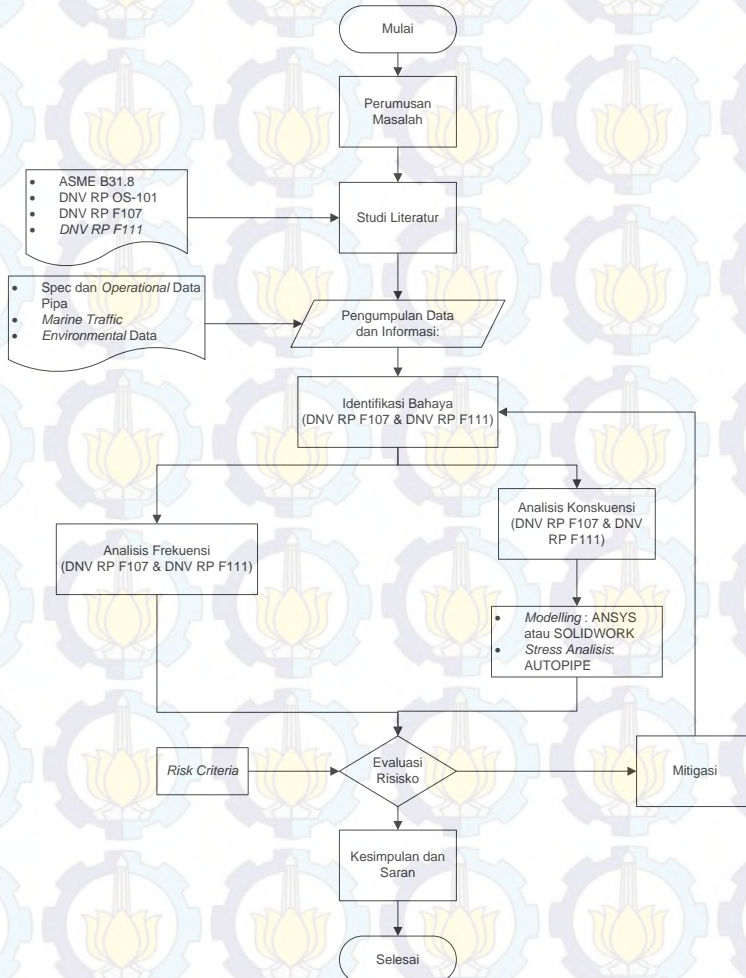
Buttons: OK, Cancel, Help

Gambar 2. 10 Contoh masukan data *input* pada AUTOPIPE



Gambar 2. 11 Contoh pemodelan pada AUTOPIPE

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3. 1 Flow Chart Pengerjaan Skripsi

3.1 Pengumpulan Data

Pada langkah ini adalah mengumpulkan data yang berhubungan dan dapat membantu dalam pengerjaan skripsi ini. Data yang dibutuhkan untuk melakukan penilaian risiko :

- Data desain jalur pipa.
- Data material pipa, tekanan operasi pipa, jenis fluida yang dibawa oleh pipa, ukuran pipa dan sebagainya.
- Data lingkungan tempat pipa terpasang.
- Data tanah dan koefisiennya di lokasi pipa terpasang.
- Data *Existing pipeline*.
- Data Marine Traffic.
- Data Displacement kapal, Power dari engine kapal, Panjang kapal, kecepatan kapal, spesifikasi jangkar kapal.

Risk Description adalah proses untuk mendapatkan data yang terperinci sebelum dilakukan penilaian risiko. Dalam pengerjaan skripsi ini terdapat beberapa sistem yang perlu diketahui lebih terperinci, seperti mendeskripsikan struktur dan operasional dari sistem tersebut juga mendeskripsikan sistem teknis, personil, lingkungan eksternal dan aset yang berkaitan dengan penilaian risiko dan kemampuan sistem untuk mentolerir kegagalan.

a. Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya dilakukan untuk mengetahui tingkat konsekuensi yang akan digunakan dalam penilaian risiko dengan mengidentifikasi kejadian kejadian yang mungkin terjadi pada objek. Identifikasi bahaya yang dilakukan nantinya akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan penilaian risiko sesuai dengan standar DNV-RP-F107 "*Risk Assesment of Pipeline Protection*". Potensi bahaya hazard yang akan dianalisis adalah dropped anchor, dragged anchor dan sinking vessels akibat aktivitas lalu lintas kapal di perairan diatas jalur pipa offshore.

Sedangkan pada crossing pipeline yang terjadi potensi bahaya yang akan dianalisis adalah tegangan pada pipa dengan menggunakan standar ASME B31.8 dan DNV-OS-F101.

b. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi dilakukan dengan melakukan perhitungan perhitungan berdasarkan skenario, dengan asumsi yang logis dan studi literatur pada riset yang telah dilakukan sebelumnya. Sehingga kemungkinan terjadinya suatu kejadian risiko dapat diterima dan memperoleh nilai frekuensi yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan akhir. Analisis frekuensi biasanya menggunakan satuan *event per year*.

c. Analisis Konsekuensi

Analisis konsekuensi dilakukan berdasarkan standar DNV-RP-F107 "*Risk Assesment of Pipeline Protection*" untuk menentukan konsekuensi yang dapat diterima oleh pipa.

d. Risk Matrix

Berdasarkan hasil analisis frekuensi dan analisis konsekuensi yang sudah dilakukan, maka selanjutnya hasil tersebut dapat diplotkan ke dalam *risk matrix* dan dapat ditentukan apakah risiko tersebut dapat diterima atau tidak. *Risk matrix* yang digunakan yaitu menggunakan *risk matrix* standar DNV-RP-F107.

e. Mitigasi

Proses mitigasi yaitu adalah suatu tindakan untuk mengurangi risiko (*risk reducing measure*) pada risiko yang terdapat di daerah yang tidak dapat diterima menjadi masuk ke dalam daerah yang diterima atau setidaknya daerah ALARP.

Pedoman yang bisa digunakan untuk melakukan mitigasi berdasarkan peraturan pemerintah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Peraturan tentang Arus Pelayaran

Peraturan	Keterangan
Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 68 tahun 2011 tentang Alur Pelayaran di Laut pasal 45	<p>Penempatannya di sisi terluar alur-pelayaran.</p> <p>Alur pelayaran dengan kedalaman laut < 20 meter, kabel laut dan pipa bawah laut harus dipendam empat meter dibawah permukaan dasar laut.</p> <p>Alur pelayaran dengan kedalaman 20-40 meter kabel laut dan pipa bawah laut harus dipendam dua meter di bawah permukaan dasar laut.</p> <p>Alur pelayaran dengan kedalaman lebih dari 40 meter, kabel laut dan pipa bawah laut harus dipendam satu meter di bawah permukaan dasar laut.</p> <p>Pada lokasi tertentu untuk mengantisipasi pengembangan pelabuhan dan kepadatan lalu lintas pelayaran perlu dilakukan <i>risk assessment</i> antara lain melalui kegiatan penjatuhan jangkar kapal terbesar.</p> <p>Pengembangan pipa yang memotong alur pelayaran penempatannya tidak boleh ditempatkan pada tikungan alur pelayaran.</p>

f. Verifikasi

Pada tahap ini yang dilakukan yaitu meninjau ulang apakah risiko yang sudah dilakukan tindakan mitigasi tersebut benar benar sudah dapat diterima atau tidak. Apabila akibat risiko yang ditimbulkan masih tetap maka perlu dilakukan mitigasi kembali hingga akibat dari risiko yang ditimbulkan berkurang atau pada daerah yang dapat diterima.

g. Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari keseluruhan proses yang telah dilakukan sebelumnya serta memberikan jawaban atas permasalahan yang ada. Selanjutnya setelah membuat kesimpulan adalah memberikan saran berdasarkan hasil dari analisis untuk dijadikan dasar pada penelitian selanjutnya.



BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Data yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah data pipa gas bawah laut Gendalo dan Gehem yang melewati area labuh jangkar, data jumlah *traffic* kapal pada area labuh jangkar dan data lingkungan di sekitar area labuh jangkar. Data-data tersebut diambil dari studi literatur dan observasi. Data-data ini ada yang bersifat primer, yaitu langsung diambil dari literature misalnya *codes* dan *rules*. Ada pula yang bersifat sekunder, yaitu berdasarkan *paper* atau penelitian yang ada.

4.1.1 Data Pipa

Data pipa yang digunakan untuk penilaian risiko berasal dari dua sumber FPU, yaitu dari Gendalo dan Gehem. Walaupun berbeda sumber, tetapi kedua jalur pipa ini sama-sama melewati dua area labuh jangkar yang sama. Selain berbeda lokasi, perbedaan jumlah kapasitas masing-masing sumber yang berbeda membuat spesifikasi pipa gas bawah laut masing-masing berbeda. Berikut ini adalah spesifikasi pipa gas bawah laut yang akan dianalisis.

Fasilitas FPU yang ada di Gendalo beroperasi pada kedalaman 2.200 sampai 5.600 *feet* di bawah permukaan laut. Untuk kapasitasnya yaitu 700 mmscfd gas yang bisa diolah menjadi *sweet* gas dan dikirim ke Santan Terminal. Jalur pipa terbentang sepanjang 150 km dari FPU Gendalo menuju Santan Terminal dengan tekanan 3.300 psig. Berikut adalah spesifikasi data desain jalur pipa pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4. 1 Data desain jalur pipa Gendalo

Description	Unit	Gas Export Pipeline	
NPS	-	20	
Outside diameter	mm	508	
Pipeline wall thickness (nominal)	mm	19,4 (water depth ≤ 600m)	23,1 (water depth >600m)
Design code	-	SNI 3474, ASME B31.8, API RP 1111	
Design life	years	20	
Internal corrosion allowance	mm	1	
Internal coating	-	Liquid epoxy	
External corrosion coating	-	3LPE	
Line pipe material	-	API 5L X65 PSL2	
Manufacturing process	-	DSAWL	

Untuk material pipa menggunakan *carbon steel* sesuai API 5L X65. Berikut ini adalah spesifikasi material pipa sesuai **Tabel 4.2**.

Tabel 4. 2 Material pipa gas Gendalo

Property	Unit	Value
SMYS @ ambient temperature	MPa	450
SMTS @ ambient temperature	MPa	535
Young's modulus, E	GPa	207
Thermal expansion coefficient, α	1/K	$11,7 \times 10^{-6}$
Thermal conductivity	W/m.K	45,3
Density, ρ	kg/m ³	7850
Poisson's ratio, ν	-	0,3
Nominal pipe joint length	m	12,2

Gas yang ditransmisikan adalah gas yang sudah diolah di FPU dari sumber yang ada di dasar laut. Selama proses transmisi tersebut data-data yang digunakan untuk penilaian risiko adalah sebagai berikut pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4. 3 Data gas selama proses di FPU Gendalo

Parameter	Unit	20" Gas Export Pipeline Riser
Design Pressure-upper	MPa (psig)	22,76 (3300)
Design Pressure-lower	-	Full vacuum (-0,1 MPa gauge)
Hydrostatic test pressure	Mpa	31,864 (4620)
Internal fluid	-	Dry gas (sweet)
Product density (min/max)	kg/m3	1840/40
Operating gas density	kg/m3	156,2
Material design Temperature (min/max)	°C (F)	65,6/-17,8 (150/0)

A. Gehem

Fasilitas FPU yang ada di Gehem beroperasi di kedalaman 6000 *feet* di bawah permukaan laut. FPU Gehem ini mempunyai kapasitas 420 mmscfd. *Sweet* gas yang dihasilkan dari FPU dan yang akan dikirim ke Santan Terminal mempunyai tekanan 3.300 psig. Jalur pipa terbentang di atas *seabed* dengan panjang 88 km. Berikut ini adalah data desain jalur pipa Gehem pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4. 4 Data desain jalur pipa gas Gehem

Description	Unit	Gas Export Pipeline		
NPS	-	16		
Outside diameter	mm	406,4		
Pipeline wall thickness (nominal)	mm	15,6 (water depth \leq 450m)	18 (water depths 450m to 1000m)	22,5 (water depths $>$ 1000m)
Design code	-	SNI 3474, ASME B31.8, API RP 1111		
Design life	years	20		
Internal corrosion allowance	mm	1		
Internal coating	-	Liquid epoxy		
External corrosion coating	-	3LPE		
Line pipe material	-	API 5L X65 PSL2		
Manufacturing process	-	SMLS or HFW		

Material pipa gas yang digunakan adalah *carbon steel* dengan grade pipa yaitu API 5L X65. Berikut ini adalah data material pipa gas Gehem pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4. 5 Material pipa gas Gehem

Property	Unit	Value
SMYS @ ambient temperature	MPa	450
SMTS @ ambient temperature	MPa	535
Young's modulus, E	GPa	207
Thermal expansion coefficient, α	1/K	$11,7 \times 10^{-6}$
Thermal conductivity	W/m.K	45,3
Density, ρ	kg/m ³	7850
Poisson's ratio, ν	-	0,3
Nominal pipe joint length	m	12,2

Data gas selama beroperasi pada FPU Gehem sebagai berikut pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4. 6 Data gas selama proses di FPU Gehem

Parameter	Unit	16" Gas Export Pipeline Riser
Design Pressure-upper	MPa (psig)	22,76 (3300)
Design Pressure-lower	MPa	Full vacuum (-0,1 MPa gauge)
Hydrostatic test pressure	MPa	31,864 (4620)
Internal fluid	-	Dry gas (sweet)
Product density (min/max)	kg/m ³	2130/46
Operating gas density	kg/m ³	190,2
Material design Temperature (min/max)	°C (F)	65,6/-17,8 (150/0)

4.1.2 Data Traffic Kapal

Lalu lintas kapal yang beroperasi di sekitar area labuh jangkar merupakan potensi bahaya yang sangat mungkin terjadi pada pipa gas bawah laut. Selain data *marine traffic*, data mengenai jenis, ukuran, bobot dan spesifikasi jangkar kapal juga menjadi sangat penting dalam menentukan nilai dari frekuensi dan konsekuensi penilaian risiko. Karena dalam skenario potensi *hazard* yang terjadi pada pipa bawah laut sesuai DNV-RP-F107, sebagian sumber bahaya adalah dari kapal. Berikut adalah pengelompokan kapal berdasarkan GT (*Gross Tonnage*), pada **tabel 4.7**.

Tabel 4. 7 Pengelompokkan kapal berdasar GT

Group	Types of Ship	GT	Traffic per Tahun
A	Tug Boat & Supply Vessel	2000	4635
B	Coal & Oil Barge	5000	2769
C	Small Size Motor Vessel	10000	144
D	Medium Size Motor Vessel	20000	70
E	Medium Size Motor Vessel	30000	278
F	Medium Size Motor Vessel	40000	923
G	Medium Size Motor Vessel	50000	213
H	Large Size Motor Vessel	60000	92
I	Large Size Motor Vessel	70000	55
Jumlah			9179

Tipe dan ukuran kapal ini akan dikelompokkan sebagai pedoman untuk perhitungan frekuensi. Dan dari ukuran ini pula, akan dicari jenis dan ukuran dari jangkar terbesar untuk mencari nilai konsekuensi terhadap pipa gas bawah laut.

Data *traffic* kapal diambil dari data KSOP (Kantor Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan) di area labuh jangkar. Data *traffic* kapal yang akan digunakan adalah data di tahun 2012. Dari data tersebut, diketahui nama kapal, nama pemilik/agen, ukuran kapal, jenis muatan, jumlah muatan, tanggal kedatangan

Biro Klasifikasi Indonesia
DATA REGISTER KAPAL
(REGISTER OF SHIP)

DATA UMUM :: GENERAL DATA

No. Register (Register No.) : 14769
Nama Kapal (Name of Ship) : SARAJA
Status : AKTIF (ACTIVE)
Material : BAJA (STEEL)
Pembuat Kapal : PERTAMINA (PERTINCO, PT.)
ALAMBAT : PERTAMINA TIRU 1 & JAKARTA
Pembuat Pendaftaran (Port Of Register) : JAKARTA
Beranda (Flag) : INDONESIA
Dua Nama Lain Kapal : AMS
Tanda Kolam & Nomor Lampung (Class of hull) : **A1000**
- Oil / PRODUCT TANKER
- CSR, IPM, H, EOP
Indikasi Pemasangan (Indication of installation) : CAPSIZED, CMS (5 YEARS)
Tgl. Masuk BKI (Date of Entry Class BKI) : 22-8-2011
Pembayaran ke Bki (Pay of Bki) : Status Pending

No. BCI (BCI No.) : 9455789
Nama Sebatemima (Former Ship Name) : Jena Kapal (Ship of Ship) : OIL TANKER
Operator : PERTAMINA (PERTINCO, PT.)
ALAMBAT : PERTAMINA TIRU 1 & JAKARTA
Tanda Pemasangan (Distinctive Number) : P829
No. Dua Nama Lain Kapal (Former Class) :
Tanda Kolam & Nomor Mesin (Class of Machine) : **ESM**
Bergantung (Hanging) : LAMA (EXISTED)
Tgl. Masuk Klas. (Initial Class Period) : 18-3-2011
Tahunnya ke Bki (Pay of Bki) : 22-8-2011
Ship Category : International

DATA LAMPUK :: HULL DATA

Golongan (Shipclass) : JAMBU EASTERN HEAVY
Lama (Pay of Bki) : CMS

Gambar 4. 1 Data register kapal sesuai BKI

dan keberangkatan kapal. Contoh daripada data *traffic* kapal sesuai KSOP bisa dilihat pada **tabel 4.8**.

Mengenai dimensi kapal bisa diketahui dengan melihat ukuran GT kapal. Karena dari data tersebut bisa diidentifikasi bahwa sebagian besar kapal berbendera Indonesia, maka langkah awal mencari data register kapal yaitu di BKI (Biro Klasifikasi Indonesia), **gambar 4.1**. Dari data register kapal bisa diketahui dimensi kapal, data *hull*, data *machinery* dan data jangkar. Sesuai register kapal BKI, untuk data dimensi dan jangkar kapal bisa dilihat di **gambar 4.2**.

DATA LAMBUNG :: HULL DATA

Galangan (Shipbuilder) : JIANGSU EASTERN HEAVY

Lokasi (Place of Build) : CHINA

Tanggal Peluncuran (Date of Launch) : 18-12-2010

LOA (m) : 0

LBP (m) : 236.12

LT (mm) : 8617

GT : 63005

T (m) : -

J. Geladak (No. of Decks) : 1

Ukuran. Palka (Size of Hatchways) :

J. Sekat Melintang (No. of Watertight Bulkheads) : 10

Ø & Panjang Rantai Jangkar (Ø & L. of Anchor Chain) : 90/705.72

J. & Kap. Crane (No. & Cap. of Crane) : - x - T

Tahun Bangun (Year of Build) : 2011

BMLD (m) : 44

HMLD (m) : 21.5

NT : 24134

DWT (ton) : 88312

J. Ruang / Tangki Muat (No. of Hold / Tank) : 1

J. Palka (No. of Hatchways) : 1

J. Sekat Memanjang (No. of Long Bulkheads) : -

J. & Berat Jangkar (No. & Weight of Anchor) : 2/10130

DATA MESIN :: MACHINERY DATA

Sistem Start (Starting Device of Main Engine) : AKI (BATTERY)

Gigi Reduksi (Gear Ratio) : 1 :-

Jml. Baling-Baling (No. of Propeller) : 1

Kecepatan Dinas (Service Speed) : -

Voltage : 450

Daya Listrik (KVA) : 2700

Jenis Mesin (Type of Engine) :

Cara Kerja Mesin (Engine Work Type) :

Type Baling-Baling (Type of Propeller) :

Kecepatan Coba (Trial Speed) : -

Arus (Current) : 482

Jumlah Mesin Bantu (No. of Aux. Engine) : 3

Jumlah Mesin Induk (No. of Main Engine) : 1

Dia. x Langkah (Diameter x Stroke) : x -

DATA MESIN INDUK :: MAIN ENGINE DATA

No.	Merk	Manufacture	Cyl	BHP	RPM	Year	Model	Serie	Position
1.	QMD WARTSILA	QINGDAO QIYAO WARTSILA MIHI LINSHAN MARIN	7	20755	105	2010	7RT-FLEX58T-B	QW F0057	CA

DATA MESIN BANTU :: AUXILIARY ENGINE DATA

Item	Merk	Manufacture	Location	Model	BHP	Year
A01	CME-MAN	ZHENJIANG CME CO.,LTD.	CHINA	6L23/30H	1305	2010
A02	CME-MAN	ZHENJIANG CME CO.,LTD.	CHINA	6L23/30H	1305	2010
A03	CME-MAN	ZHENJIANG CME CO.,LTD.	CHINA	6L23/30H	1305	2010

Gambar 4. 2 Data dimensi dan jangkar kapal

Tabel 4. 8 Contoh data *traffic* kapal

NO	NAMA KAPAL	NAMA PEMILIK/AGEN	UKURAN/G T	BENDERA	TIBA TANGGAL	BERANG KAT TANGGAL	B O N G K A R JENIS	VOLUME ORG/EK/TON	A S A L	M U A T		TUJUAN
										JENIS	VOLUME ORG/EK/TON	
1	KMT. BERAU EXPRESS	PT. PELNI	185	RI	29/12/2011	31/12/2011	NIHIL	NIHIL	BENOA	NIHIL	NIHIL	TG. REDEB
2	KM. BALI TABANAN	PT. S P I L	2997	RI	27/12/2011	01/01/2012	KONTENER	221	TG. PRIOK	KONTENER	220	TG. PRIOK
3	KM. KIMTRANS SPB. 3212	PT. GURITA LINTAS S	3708	RI	30/12/2011	01/01/2012	BATUBARA	7,980	SAMARINDA	NIHIL	NIHIL	SAMARINDA
4	KM. KIRANA. II	PT. D L U	6370	RI	01/01/2012	01/01/2012	PNP/KEND	41/59	SURABAYA	PNP/KEND	120/28	SURABAYA
5	KMP. MANDALA NUSANTARA KM. KITTIWAKE	PT. JEMBATAN MADURA	1333	RI	31/12/2011	01/01/2012	PNP/KEN/HWN	82/14/30	MAMUJU	PNP/KEND	128/17	MAMUJU
6	MV. TSS PIONER. 4	PT. KANAKA LINES	1794	RI	01/01/2012	01/01/2012	DRILL MATT	20	TG. SANTAN	DRILL MATT	10	TG. SANTAN
7	MT. CONCERTINA	PT. PERTAMINA	962	RI	01/01/2012	01/01/2012	DRILL MATT	20	TG. SANTAN	DRILL MATT	30	TG. SANTAN
8	MT. PUTRI BANGSA	PT. PERTAMINA	52048	RI	01/01/2012	02/01/2012	CRUDE OIL	22,126	SENIPAH	NIHIL	NIHIL	ARJUNA
9	MT. DEWI SRI	PT. PERTAMINA	27031	RI	30/12/2011	01/01/2012	CRUDE OIL	14,392	BUNYU	NIHIL	NIHIL	DUMAI
10	KM. BUKIT SIGUNTANG	PT. PELNI	2270	RI	31/12/2011	01/01/2012	NIHIL	NIHIL	AMPENAN	B B M	3,000	BENOA
11	SPOB. OCEAN BAY. 23313	PT. BENUA RAYA K	14649	RI	02/01/2012	02/01/2012	PNP	879	PARE PARE	PNP	17	TARAKAN
12	MT. PROVIDENCE	PT. PERTAMINA	1829	RI	30/12/2011	02/01/2012	NIHIL	NIHIL	BONTANG	B B M	1,900	BONTANG
13	MT. LAMIWURI. 01	PT. PERTAMINA	9738	RI	31/12/2011	02/01/2012	NIHIL	NIHIL	BITUNG	B B M	12,000	BITUNG
14			2209	RI	01/01/2012	02/01/2012	NIHIL	NIHIL	BANJARMASIN	B B M	3,500	BANJARMASIN

Pengelompokkan jenis kapal di atas dipilih dari GT kapal yang paling mendekati dari kapal sebenarnya sesuai KSOP. Dari hasil identifikasi spesifikasi kapal tersebut, maka didapatkan hasil sesuai **tabel 4.9**.

Tabel 4. 9 Pengelompokkan kapal

Group	Nama Kapal	Gross Tonnage	Dimensi Kapal (m)			Panjang Rantai Jangkar (m)	Lebar Jangkar (m)	Berat Jangkar Terbesar (kg)
			Panjang	Lebar	Sarat			
A	Fugro Supporter	2065	75.4	12.5	5.4	12.5	1.26	1590
B	Ketaling	5119	105	18.8	5.3	495	1.636	3300
C	Providence	9738	143.1	22	5.2	495	2.011	4650
D	Durgandini	21853	179.9	28	7.1	632.5	2.179	7800
E	Ridgebury John	28063	177.6	32.2	18.1	660	2.311	9300
F	Ostende Max	38489	225	32.3	17.8	660	2.407	10500
G	Concertina	52048	232	42	20.3	687.5	2.452	11100
H	Jag Leela	58374	243.5	42	20	715	2.372	10200
I	Gede	63005	244	44	21.5	705.7	2.372	10130

4.1.3 Data Lingkungan

Data lingkungan merupakan data yang berhubungan dengan geografi, cuaca maupun kondisi lingkungan tersebut. Berikut ini adalah data jenis tanah sesuai tingkat kedalaman, pada **tabel 4.10** dan **tabel 4.11**.

Tabel 4. 10 Soil data pada daerah Gendalo

KP (km)	Water Depth (m)	Soil Type
0 - 10,08	Varies between 1101 to 200	IV (Clay)
10,08 - 15,08	Varies between 202 to 94	II (Sand)
15,08 - 94,08	Varies between 94 to 44	I (Clay)
94,08 - 102,08	Varies between 73 to 37	III (Clay)
102,08 - 143,96	Varies between 16 to 51	I (Clay)

Tabel 4. 11 Soil data pada daerah Gehem

KP (km)	Water Depth (m)	Soil Type
0 - 20,43	Varies between 1723 to 148	IV (Clay)
20,43 - 30,43	Varies between 148 to 70	II (Sand)
30,43 - 78,09	Varies between 39 to 16	I (Clay)

Sedangkan untuk suhu profil air laut ditunjukkan pada

Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4. 12 Profil suhu air laut

Depth (m)	Temperature (°C)
0	26,7
200	17,4
450	13,3
600	8,3
1000	5,6
1101	5

4.2 Identifikasi Bahaya

Pipa gas bawah laut yang akan dianalisis adalah pipa gas yang membawa *sweet gas* yang berasal dari FPU (Floating Production Unit) dari Gendalo dan Gehem menuju ke Terminal Santan . Kedua jalur pipa ini melewati daerah labuh jangkar, dimana potensi bahaya *dropped anchor*, *dragged anchor* dan *sinking vessel* sangat besar karena aktivitas kapal. Kedalaman perairan area labuh jangkar tersebut antara 35-40 meter di bawah permukaan laut.

Jalur pipa dari Gendalo terbentang sepanjang kurang lebih 150 km dan dari Gehem kurang lebih 88 km. untuk diameter kedua pipa tersebut yaitu 20 inch untuk Gendalo dan 16 inch untuk Gehem. Kedua pipa tersebut terbentang dalam kondisi digelar di permukaan *seabed*.

4.3 Penilaian Risiko

Penilaian risiko dilakukan untuk mengetahui tingkat risiko dari *hazard* yang ada. Bahaya terhadap jalur pipa gas tersebut dihitung menggunakan metode frekuensi dan konsekuensi.

Hasil analisis tegangan terhadap jalur pipa akan divalidasi menggunakan *software* AutoPIPE.

4.3.1 Penilaian Frekuensi

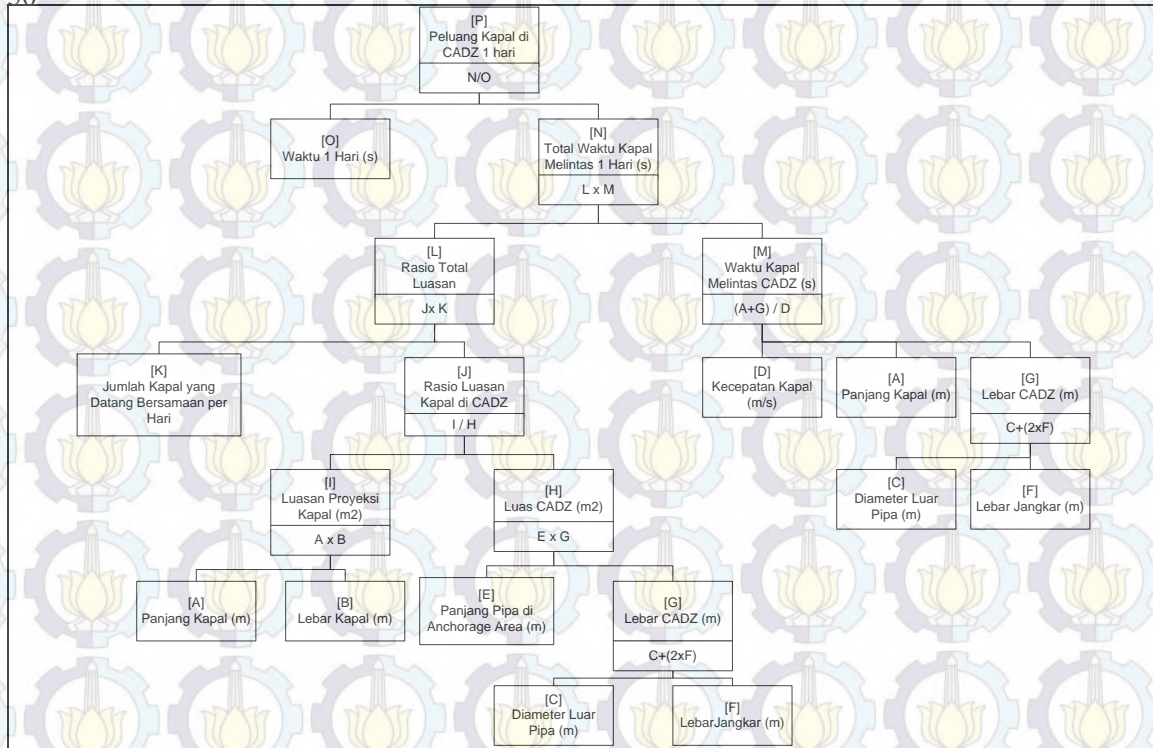
Penilaian frekuensi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar peluang atau kemungkinan terjadinya bahaya per satuan waktu (tahun). Dalam penilaian frekuensi ini, hal yang perlu dilakukan pertama adalah identifikasi skenario yang sangat mendekati penyebab terjadinya suatu bahaya. Bisa dikatakan bahwa peluang kejadian awal (*initiating event*) sampai dengan kejadian bahaya terjadi, diurut sampai menghasilkan hasil akhir peluang bahaya atau risiko per tahun satuan waktu. Kecepatan kapal, ukuran kapal, densitas kapal per tahun di daerah lego jangkar, peluang kapal kehilangan kontrol navigasi, peluang kapal menjatuhkan jangkar tepat mengenai pipa dan peluang kapal bertabrakan dengan kapal lain adalah sebagian kecil dari skenario yang mungkin muncul sebagai acuan dalam menentukan nilai frekuensi. Hasil akhir dari penilaian frekuensi ini akan diplotkan pada tabel *risk matrix* sesuai DNV-RP-F107 agar kita bias menilai pada level berapa frekuensi ini berada, apakah dalam kategori aman, bias ditolerir atau harus dilakukan mitigasi.

4.3.1.1 Penilaian Frekuensi Akibat Dropped Anchor

Nilai dari perhitungan frekuensi ini bisa dihitung dari urutan peluang yang dihasilkan dari skenario bahaya terjadinya *dropped anchor* pada pipa. Densitas kapal per tahun di area labuh jangkar, frekuensi kapal melintasi pipa dan peluang kapal menjatuhkan jangkar di area CADZ (*Critical Anchor Damage Zone*) sampai hasil akhir peluang jangkar jatuh lalu mengenai pipa per tahun menjadi skenario utama. Panjang dari CADZ didapat dari lebar diameter terluar pipa termasuk *coating* ditambah dengan dua kali lebar jangkar terbesar.

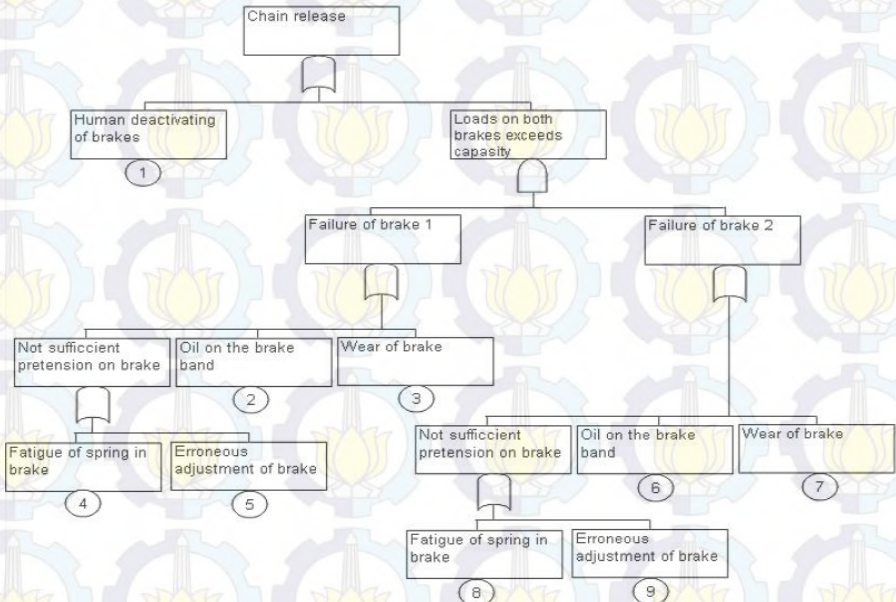
Dalam perhitungan penilaian frekuensi, data kecepatan kapal akan diasumsikan 2, 4 dan 6 knot. Hal ini dikarenakan asumsi rata-rata kecepatan kapal yang akan memasuki dan di dalam area lego jangkar. Sedangkan peluang jangkar dijatuhkan pada *anchorage area* adalah 100%, dengan asumsi kapal pasti melakukan lego jangkar jika saat di *anchorage area*.

Untuk menghitung nilai *geometric probability* yang terletak di *anchorage area*, bisa menggunakan langkah FTA (*Fault Tree Analysis*) seperti **gambar 4.3**. Jumlah kapal setiap tahun dibagi dengan jumlah hari dalam satu tahun menghasilkan rata-rata jumlah kapal perhari yang melintas. Contoh yang sesuai dengan gambar 4.3 menunjukkan variasi kecepatan kapal dalam 2 knot (1.029 m/s). Hasil akhir peluang kapal berada pada CADZ per hari akan dijadikan peluang kapal per tahun pada daerah CADZ.



Gambar 4. 3 Geometric Probability dari Dropped Anchor

Skenario dari jatuhnya jangkar di *anchorage area* juga bisa diidentifikasi dari *anchoring system* itu sendiri. Jatuhnya jangkar bisa disebabkan oleh rusak atau gagalnya *brake* dari *windlass*. Digambarkan dengan FTA sesuai **gambar 4.4** dan memiliki nilai $3,0 \times 10^{-3}$. Sedangkan penyebab yang lain bisa karena rusak atau gagalnya *anchor line* yang digambarkan dengan **gambar 4.5** dan memiliki nilai kegagalan $2,2 \times 10^{-2}$. Jadi apabila digabungkan, maka nilai dari *anchor failure* per tahun yaitu $2,5 \times 10^{-2}$. (Kvitrud, et al 2005)



Gambar 4. 4 Skenario Kegagalan pada *Brakes Windlass*



Dari semua perhitungan dan skenario yang ada, maka bisa dibuat *sequence* kejadian frekuensi dari *dropped anchor* dengan menggunakan ETA (*Event Tree Analysis*). *Sequence* ini didapat dari skenario mulai kapal berada di *anchorage area*, kapal berada di CADZ, kapal menjatuhkan jangkar atau jangkar terjatuh karena mengalami kegagalan *system anchoring*. Sehingga contoh hasil akhir *sequence* adalah peluang kapal menjatuhkan jangkar dan mengenai pipa di CADZ per tahun. Sesuai **tabel 13**.

Dan untuk hasil akhir dari perhitungan frekuensi *dropped anchor* bisa dilihat pada **tabel 14**. Hasil lengkap perhitungan frekuensi *dropped anchor*, bisa dilihat pada **Lampiran**.

Tabel 4. 13 **Tabel Penilaian Frekuensi *Dropped Anchor***

DROPPED ANCHOR						
Group A: 2000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	75.4	75.4	75.4
B	-	Lebar Kapal	m	12.5	12.5	12.5
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar Jangkar	m	1.26	1.26	1.26
G	$(2xF)+C$	Lebar CADZ	m	3.028	3.028	3.028
H	$F \times G$	Luas CADZ	m ²	27252	27252	27252
I	$A \times B$	Luasan proyeksi kapal	m ²	942.5	942.5	942.5
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.035	0.035	0.035
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	12	12	12
L	$J \times K$	Rasio total luasan kapal	-	0.415	0.415	0.415
M	$(A+G)/D$	Waktu kapal melintas CADZ	s	76.226	38.113	25.409
N	$L \times M$	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	31.635	15.817	10.545
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	3.66E-04	1.83E-04	1.22E-04
Q	$365 \times P$	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	1.34E-01	6.68E-02	4.45E-02
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	$Q \times R$	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	1.34E-01	6.68E-02	4.45E-02
LEVEL				5	4	4

Tabel 4. 14 ETA *Dropped Anchor*

Kapal Group A. 2 knot					
Anchorage Area	Kapal Berada di CADZ	Kapal Menjatuhkan Jangkar	Anchor Failure**	Potensi Kejadian	Peluang Kejadian Dropped Anchor
	Ya	Ya	1	Jangkar Jatuh ke Pipa	1.34E-01
				Jangkar Jatuh ke Pipa	0.00E+00
		Tidak	0	Pipa Aman	1.00E-02
				Pipa Aman	0.866357064
	Tidak			Pipa Aman	0.866357064
				Total = 1	

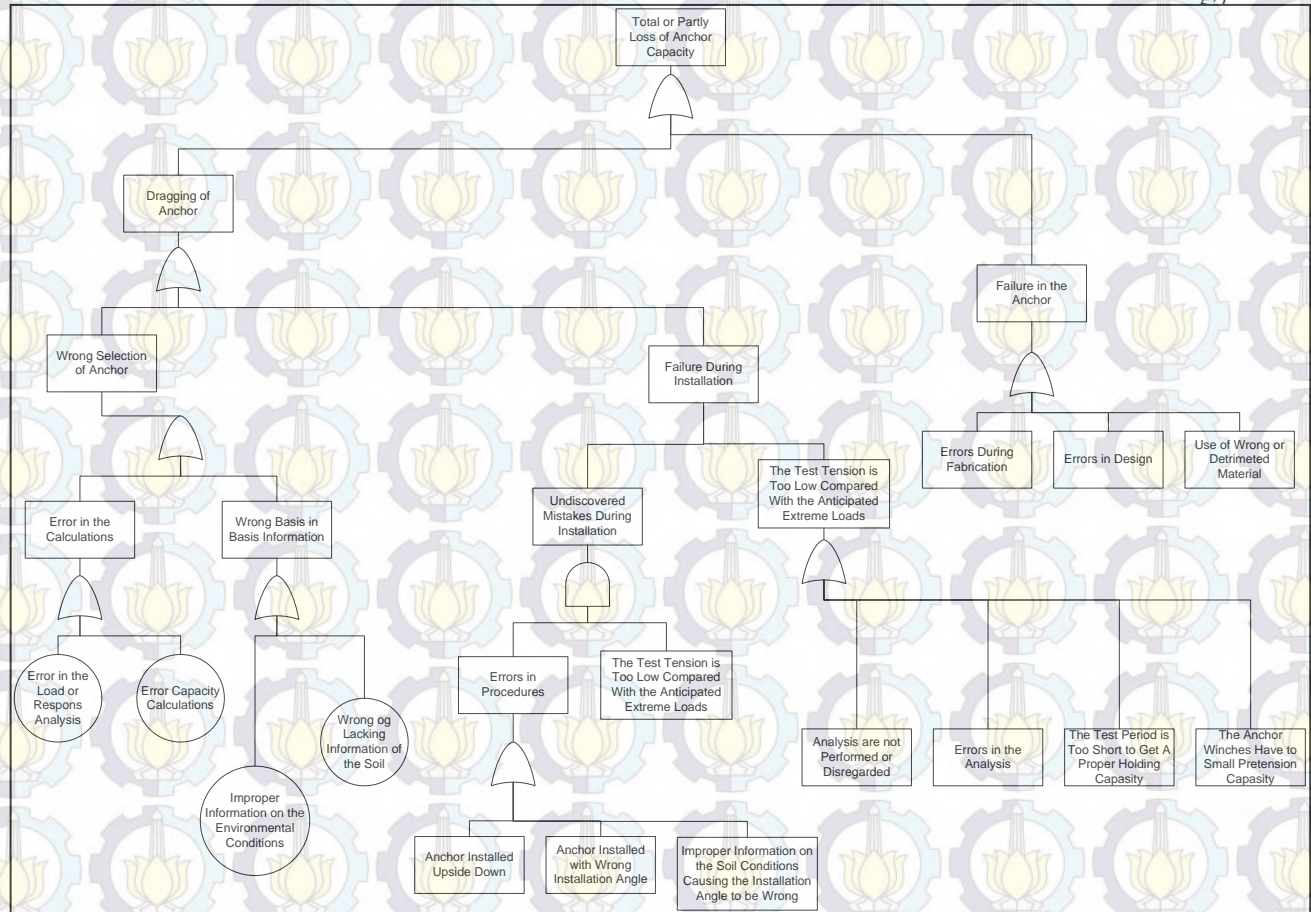
** A. Kvitrud. 2005. *In Service Experiences of Anchoring Systems in Norway 1996-2005*

4.3.1.2 Penilaian Frekuensi Akibat Dragged Anchor

Hampir sama halnya dengan perhitungan atau analisis frekuensi untuk *dropped anchor*, pada kasus *dragged anchor* juga harus mengurutkan skenario terjadinya bahaya pada pipa. Ukuran jangkar terbesar, kecepatan kapal, peluang jangkar terseret di CADRZ (*Critical Anchor Drag Zone*) kemudian sampai peluang jangkar jatuh lalu mengenai pipa per tahunnya, menjadi skenario utama. Faktor penyebab analisis kasus *dragged anchor* ini dihitung adalah jalur pipa berada di atas *seabed*. Untuk itu perhitungan atau analisis bahaya *dragged anchor* pada pipa menjadi penting.

Peluang jangkar dijatuhkan pada area CADRZ per tahun adalah 19%. Peluang jangkar dijatuhkan dan mengenai pipa ini bisa dihitung dengan menggunakan rumus yang sama dengan perhitungan pada frekuensi *dropped anchor*. (Yan, et al 2011).

Dalam perhitungan penilaian frekuensi, data kecepatan kapal akan diasumsikan 2, 4 dan 6 knot. Asumsi ini dipilih berdasarkan kecepatan rata-rata kapal saat berada di CADRZ. Sedangkan peluang jangkar terseret setelah dijatuhkan di area CADRZ adalah 0,5 %. Nilai ini didapatkan dari asumsi peluang jangkar kehilangan kapasitas untuk menahan (*Loss of Intended Anchor Holding Capacity*). Nilai dari *dragging anchor* ini sangat bergantung dari tipe dan resistensi tanah. Digambarkan dengan FTA sesuai **gambar 4.6**. (Kvitrud, et al 2005).



Gambar 4. 5 Skenario Terjadinya *Dragged Anchor*

Skenario dari frekuensi *dragged anchor* ini hamper sama dengan skenario frekuensi dari *dropped anchor*. Sama digambarkan dalam bentuk ETA, hanya saja urutan skenario ditambahi dengan menggunakan peluang jangkar kehilangan kemampuan untuk menahan. Untuk *geometric probability*, diskenariokan kapal berada di *anchorage area* dan kapal berada di CADRZ. *Sequence* berikutnya, kapal menjtuhkan jangkar atau kapal mengalami *anchor failure*. Setelah jangkar terjatuh, *sequence* bahwa jangkar kehilangan kemampuan atau kapasitas untuk menahan sehingga mengalami *drag* dihitung peluangnya. Contoh hasil total *sequence* adalah peluang kapal menjatuhkan jangkar kemudian terseret dan mengenai pipa per tahun bisa dilihat pada **tabel 16**.

Hasil akhir dari perhitungan frekuensi *dragged anchor* di area CADRZ, pada **tabel 4.15**. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada **Lampiran**.

Tabel 4. 15 Kesimpulan Penilaian Frekuensi *Dragged Anchor*

DRAGGED ANCHOR						
Group A : 2000 GT						
Simbo l	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	75.4	75.4	75.4
B	-	Lebar Kapal	m	12.5	12.5	12.5
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar fluke jangkar	m	0.9	0.9	0.9
G	27xF	Lebar CADZ	m	24.3	24.3	24.3
H	(27 x F)x G	Luas CADZ	m ²	218700	218700	218700
I	A x B	Luasan proyeksi kapal	m ²	942.5	942.5	942.5
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.004	0.004	0.004
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	12	12	12
L	J x K	Rasio total luasan kapal	-	0.052	0.052	0.052
M	(A+G)/D	Waktu kapal melintas CADZ	s	96.901	48.450	32.300
N	L x M	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	5.011	2.506	1.670
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	5.80E-05	2.90E-05	1.93E-05
Q	365 x P	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	2.12E-02	1.06E-02	7.06E-03
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	-	Peluang jangkar loss holding capacity	-	0.50%	0.50%	0.50%
T	S x T	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	1.06E-04	5.29E-05	3.53E-05
LEVEL				2	1	1

Tabel 4. 16 ETA *Dragged Anchor*

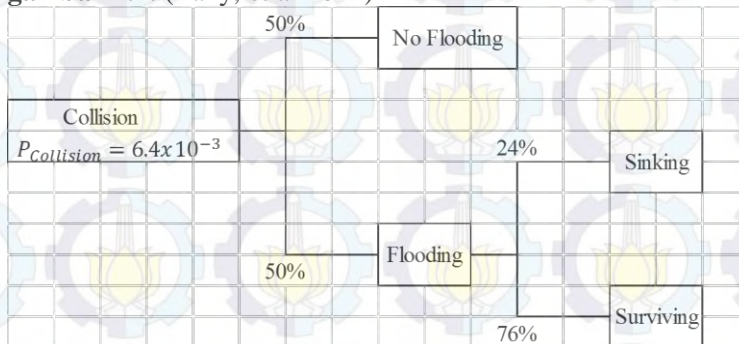
Kapal Group A. 2 knot								
Anchorage Area	Kapal Berada di CADRZ	Jangkar Dijatuhkan	Anchor Failure**	Loss Holding Capacity Anchor**	Potensi Kejadian	Peluang Kejadian Dragged Anchor		
	Ya	Ya	1	Ya	0.005	Pipa Terseret Jangkar	1.06E-04	
				0.995	Pipa Tidak Terseret	2.11E-02		
		Tidak	0	Ya	0.005	Pipa Terseret Jangkar	0.00E+00	
				0.995	Pipa Tidak Terseret	0.00E+00		
				Tidak	0.075	Pipa Aman	0.00E+00	
						Pipa Aman	0.97883006	
		Tidak	0.97883006					
		Total = 1						

** A. Kvitrud. 2005. *In Service Experiences of Anchoring Systems in Norway 1996-2005*

4.3.1.3 Penilaian Frekuensi Akibat Sinking Vessels

Dalam penilaian frekuensi akibat *sinking vessels* ada suatu istilah yang biasa disebut CSZ (*Critical Sinking Zone*) yaitu daerah di sekitar jalur pipa yang memiliki lebar diameter terluar pipa termasuk *coating* ditambah dengan dua kali panjang kapal terbesar. Sama halnya dengan *dropped anchor* dan *dragged anchor*, penilaian frekuensi *sinking vessels* ini juga menggunakan skenario terjadinya bahaya pada pipa, terlebih di area sekitar CSZ.

Dalam analisis frekuensi ini, akan menggunakan asumsi atau pendekatan peluang terjadinya kapal bertubrukan dengan kapal lain yaitu. Sedangkan peluang kapal tenggelam yaitu 0,07 %. Tentunya di perairan yang berbeda, nilai peluang juga berbeda tergantung dengan densitas kapal, topografi daerah perairan dan kondisi lingkungan. Proses terjadinya kapal mengalami tubrukan sampai tenggelam bisa dilihat pada **gambar 4.7.** (Zaky, et al 2012)



Gambar 4. 6 Sequence dari Skenario Sinking Vessel

Skenario dari frekuensi *sinking vessel* ini menggunakan ETA berdasarkan *sequence* dari scenario yang paling mendekati kejadian sebenarnya. Tahap awal dari *sequence* ETA adalah menentukan *geometric probability* yaitu kapal berada di *anchorage area* dan kapal berada di CSZ. *Sequence* berikutnya

adalah peluang kapal mengalami *collision*, peluang terjadinya *flooding* setelah tubrukan dan peluang kapal tenggelam karena *flooding* setelah mengalami tubrukan. Contoh ETA dari *sinking vessel* digambarkan pada **tabel 4.18**.

Salah satu contoh dari penilaian frekuensi dari *sinking vessels* adalah pada **Tabel 4.17**. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada **Lampiran**.

Tabel 4. 17 Kesimpulan Penilaian Frekuensi *Sinking Vessel*

SINKING VESSEL						
Group A: 2000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	75.4	75.4	75.4
B	-	Kedalaman perairan	m	35	35	35
C	-	Kecepatan kapal	m/s	1.03	2.06	3.09
D	-	Diamater luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
E	-	Maks tebal insulation & concrete pipa	mm	19.4	19.4	19.4
			m	0.0194	0.0194	0.0194
F	(A+D+2E)/C	Waktu melintasi pipa	s	74.308121	37.15406	24.769374
G	-	Jumlah melintas tahunan	kali	4635	4635	4635
H	FxG	Total waktu per tahun melintasi pipa	s	344418.14	172209.07	114806.05
I	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9100	9100	9100
J	(2A+D+2E)xI	Luas CSZ (Critical Sinking Zone)	m2	1377255.9	1377255.9	1377255.9
K	-	Luas anchorage area	m2	25100000	25100000	25100000
L	J/K	Peluang kapal berada di CSZ	-	0.0548708	0.0548708	0.0548708
M	HxL	Total waktu per tahun kapal di CSZ	s	18898.482	9449.2412	6299.4941
N	-	Total waktu satu tahun	s	31104000	31104000	31104000
O	M/N	Peluang kapal di CSZ per tahun	-	6.08E-04	3.04E-04	2.03E-04
P	-	Peluang kapal tenggelam selama operasi	-	7.68E-04	7.68E-04	7.68E-04
Q	OxP	Peluang kapal di CSZ akan tenggelam per tahun	-	4.67E-07	2.33E-07	1.56E-07
LEVEL				1	1	1

Tabel 4. 18 ETA *Sinking Vessel*

Kapal Group A		Kecepatan 2 knot					
Anchorage Area	Kapal Berada di CSZ	Collision**	Kapal Flooding & Tenggelam**	Potensi Kejadian	Peluang Kejadian Sinking Vessel		
		Ya	0.0064	Kapal Tenggelam	4.67E-07		
			88%	Kapal Rusak Ringan	3.42E-06		
			Tidak				
			Ya	6.08E-04	0.9936	Kapal Aman	6.04E-04
						Tidak	
	0.99939241		Kapal Aman	0.99939241			
			Tidak				
Total =					1		

** Zaky, Moch. 2012. Marine Safety in Indonesia Waters and Some Insights Gained from the European Experience.

Hasil akhir dan kesimpulan dari penilaian frekuensi ditunjukkan pada **tabel 4.19** berikut.

Tabel 4. 19 Kesimpulan Total Penilaian Frekuensi

HASIL AKHIR PENILAIAN FREKUENSI							
Kecepatan (knot)	Group	Dropped Anchor		Dragged Anchor		Sinking Vessel	
		Frekuensi	Ranking	Frekuensi	Ranking	Frekuensi	Ranking
2	A	1.34E-01	5	1.06E-04	2	4.67E-07	1
	B	2.07E-01	5	1.55E-04	2	5.38E-07	1
	C	4.68E-02	4	3.41E-05	1	5.18E-08	1
	D	8.73E-02	4	6.07E-05	1	3.97E-08	1
	E	9.29E-02	4	6.50E-05	1	1.54E-07	1
	F	4.30E-01	5	2.91E-04	2	8.18E-07	1
	G	1.95E-01	5	1.31E-04	2	2.01E-07	1
	H	2.21E-01	5	7.38E-05	1	9.54E-08	1
	I	2.32E-01	5	1.55E-04	2	5.73E-08	1
4	A	6.68E-02	4	5.29E-05	1	2.33E-07	1
	B	1.04E-01	5	7.74E-05	1	2.69E-07	1
	C	2.34E-02	4	1.71E-05	1	2.59E-08	1
	D	4.36E-02	4	3.03E-05	1	1.99E-08	1
	E	4.65E-02	4	3.25E-05	1	7.69E-08	1
	F	2.15E-01	5	1.45E-04	2	4.09E-07	1
	G	9.75E-02	4	6.56E-05	1	1.00E-07	1
	H	1.10E-01	5	7.38E-05	1	4.77E-08	1
	I	1.16E-01	5	7.76E-05	1	2.86E-08	1
6	A	4.45E-02	4	3.53E-05	1	1.56E-07	1
	B	6.91E-02	4	5.16E-05	1	1.79E-07	1
	C	1.56E-02	4	1.14E-05	1	1.73E-08	1
	D	2.91E-02	4	2.02E-05	1	1.32E-08	1
	E	3.10E-02	4	2.17E-05	1	5.12E-08	1
	F	1.43E-01	5	9.69E-05	1	2.73E-07	1
	G	6.50E-02	4	4.38E-05	1	6.69E-08	1
	H	7.37E-02	4	4.92E-05	1	3.18E-08	1
	I	7.75E-02	4	5.17E-05	1	1.91E-08	1

4.3.2 Penilaian Konsekuensi

Penilaian konsekuensi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar dampak energi dari bahaya *dropped anchor*, *dragged anchor* dan *sinking vessels* pada jalur pipa. Perhitungan dari analisis konsekuensi ini berpedoman pada *standard* DNV-RP-F107 dan DNV-RP-F111 dengan menghitung energi-energi yang mungkin terjadi pada jalur pipa. Hasil akhir dari penilaian konsekuensi ini akan diplotkan pada *risk matrix* sehingga akan muncul ranking sesuai *standard* DNV-RP-107.

Berikut ini adalah data jangkar yang digunakan untuk menghitung konsekuensi yang berkaitan dengan jangkar, bisa dilihat pada **tabel 4.20**.

Tabel 4. 20 Data jangkar

Group	Nama Kapal	Gross Tonnage	Dimensi Kapal (m)			Panjang Rantai Jangkar (m)	Lebar Jangkar (m)	Berat Jangkar Terbesar (kg)
			Panjang	Lebar	Sarat			
A	Fugro Supporter	2065	75.4	12.5	5.4	12.5	1.26	1590
B	Ketaling	5119	105	18.8	5.3	495	1.636	3300
C	Providence	9738	143.1	22	5.2	495	2.011	4650
D	Durgandini	21853	179.9	28	7.1	632.5	2.179	7800
E	Ridgebury John	28063	177.6	32.2	18.1	660	2.311	9300
F	Ostende Max	38489	225	32.3	17.8	660	2.407	10500
G	Concertina	52048	232	42	20.3	687.5	2.452	11100
H	Jag Leela	58374	243.5	42	20	715	2.372	10200
I	Gede	63005	244	44	21.5	705.7	2.372	10130

4.3.2.1 Absorbed Energy oleh Pipa

Besarnya energi tubrukan tergantung dari spesifikasi bahan saluran pipa yang dapat dihitung dengan persamaan DNV-RP-F107, Eq. berikut.

$$E = 16 \times \left(\frac{2\pi}{9}\right)^{1/2} \times m_p \times \left(\frac{D}{t}\right)^{1/2} \times D \times \left(\frac{\delta}{D}\right)^{3/2} \quad (4.1)$$

Dimana :

- m_p = Momen dinding pipa
 $= \frac{1}{4} \times \sigma_y \times t^2$
 $= 42340,5 \text{ N}$
- δ = Kedalaman pipa penyok (meter)
 $= \text{Contoh menggunakan } 5\% \text{ dent}$
- t = Tebal dinding pipa (meter)
 $= 0,0194 \text{ m}$
- σ_y = *yield strenght* (N/m²)
 $= 450 \text{ MPa} = 4,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
- D = Diameter luar pipa (meter)
 $= 0,508 \text{ m}$
- E = 89,418 kJ

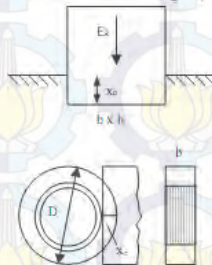
Jadi hasil *impact* yang didapatkan dari variasi diameter kerusakan pipa baja atau penyok yang kemungkinan terjadi sesuai tabel 4 DNV-RP-F107 bisa dilihat pada **tabel 4.21**.

Tabel 4. 21 Hasil *impact* berdasarkan variasi *dent diameter* pada pipa

Dent/Diameter	Damage Description	Unit	Value
< 5%	Minor damage	KJ	89.41800196
5% - 10%	Major damage. Leakage anticipated	KJ	252.9123022
10% - 15%	Major damage. Leakage and rupture anticipated	KJ	464.6295675
15% - 20%	Major damage. Leakage and rupture anticipated	KJ	715.3440157
> 20%	Rupture	KJ	715.3440157

4.3.2.2 Absorbed Energy oleh Coating

Kemudian energi yang dapat direndam lapisan pipa (*concrete coating*) adalah fungsi dari volume benda dan *crushing strenght*, hal tersebut ditunjukkan pada **gambar 4.8** dan persamaan DNV-RP-F107, Eq. 4 berikut.



Gambar 4. 7 Contoh pembebanan (Figure 5, DNV-RP-F107)

$$Ek = Y \times b \times h \times Xo \quad (4.2)$$

Dimana :

Y = Tekanan lapisan pipa (N/m^2), sebesar 3-5 kali *cube strenght* untuk berat jenis lapisan normal, atau 5-7 kali *cube strenght* untuk berat jenis lapisan ringan. *Cube strenght* sebesar 35 – 45 Mpa.

= 135 MPa , (3x45 MPa)

b = Lebar dari luasan benda yang menubruk lapisan pipa (jangkar)

= 0,3 m

h = Panjang dari luasan benda yang menubruk lapisan pipa

= 0,3 m

X_o = Tebal lapisan pipa

= 0,0035 m

E_k = Energi yang diserap *concrete coating*

= 33,075 kJ

Jadi, total energy yang diserap oleh pipa beserta *coating*nya bisa dilihat pada **tabel 4.22** berikut:

Tabel 4. 22 Total Impact Energi Pipa dan Coating

Dent/ Diameter	Damage Description	Unit	Value
< 5%	Minor damage	KJ	122.493002
10%	Major damage. Leakage anticipated	KJ	285.9873022
15%	Major damage. Leakage and rupture anticipated	KJ	497.7045675
20%	Major damage. Leakage and rupture anticipated	KJ	748.4190157
> 20%	Rupture	KJ	748.4190157

Perbedaan energi yang menimpa objek pipa tentunya memiliki perbedaan antara yang tidak dilapisi *concrete coating*

dan yang dilapisi *concrete coating*. Berikut ini adalah perbedaan nilai energi yang terjadi pada pipa, **tabel 4.23**.

Tabel 4. 23 Perbedaan energi yang menimpa pipa

Ranking	Dent/Diameter (%)	Energi (kJ)	
		No Coating	Coating
1	< 5%	< 89,42	< 122,49
2	5 % - 10 %	89,42 - 252,91	122,49 - 285,98
3	10 % - 15%	252,91 - 464,63	285,98 - 497,7
4	15% - 20%	464,63 - 715,34	497,7 - 748,42
5	> 20 %	> 715,34	> 748,42

4.3.2.3 Penilaian Konsekuensi Akibat Dropped Anchor

Konsekuensi *dropped anchor* disebabkan oleh skenario jatuhnya jangkar dari kapal dikarenakan Berdasarkan *standard DNV-RP-107*, perhitungan konsekuensi dihitung menggunakan beberapa data untuk menghitung energi yang bisa mempengaruhi pipa. Yaitu data ukuran kapal yang akan menentukan berat dari jangkar terbesar dan data dari pipa. Hal tersebut sesuai dengan Permenhub 68 tahun 2011 pasal 45 ayat 2 dimana, “Pada lokasi tertentu untuk mengantisipasi pengembangan pelabuhan dan kepadatan lalu lintas pelayaran perlu dilakukan penilaian risiko (*risk assessment*) antara lain melalui kegiatan penjatuhan jangkar kapal terbesar (*anchor drop test*).”

a. Terminal Energy

Energi terminal adalah energi yang diterima pipa dari skenario *dropped anchor* dimana nilai energi terminal ini bergantung dari objek jangkar yang menimpa. Hasil dari terminal energy bisa dilihat pada **tabel 4.24**. Sesuai *equation 15*, DNV-RP-F107.

$$E_T = \left(\frac{m \times g}{C_d \times A} \right) \times \left(\frac{m}{\rho_{water}} - V \right) \quad (4.3)$$

Dimana :

m = berat jangkar, (kg)

= 1590 kg

g = kecepatan gravitasi, (9.81 m/s²)

= 9,81 m/s²

V = volume jangkar, (m³)

= 0,2 m³

ρ_{water} = Berat jenis air laut, (1025 kg/m³)

= 1025 kg/m³

C_D = Koefisien *Drag* jangkar

= 0,7

A = Proyeksi luasan jangkar, (m²)

= 0,71 m²

E_T = **Energi Terminal**

= 42,591 kJ

Tabel 4. 24 Terminal Energi Sesuai Tipe Jangkar

Group	Berat Jangkar (kg)	Panjang Jangkar (m)	Lebar Jangkar (m)	Proyeksi Luasan (m2)	Volume Jangkar (m3)	Energi (kJ)
A	1590	1.26	0.56	0.71	0.20	42.591
B	3300	1.636	0.73	1.19	0.42	84.306
C	4650	2.011	0.84	1.69	0.59	106.511
D	7800	2.179	0.96	2.09	0.99	186.164
E	9300	2.311	1.02	2.36	1.18	203.541
F	10500	2.407	1.07	2.58	1.34	237.468
G	11100	2.452	1.08	2.65	1.41	258.100
H	10200	2.372	1.07	2.54	1.30	227.399
I	10130	2.372	1.07	2.54	1.29	224.289

Untuk kesimpulan dari *terminal energy* dari *dropped anchor* sesuai dengan tipe kapal, bisa dilihat pada **tabel**.

b. Terminal Velocity

Kecepatan terminal adalah kecepatan dimana jangkar melaju dengan kecepatan konstan sebelum menimpa pipa. Nilai dari kecepatan terminal ini bergantung pada gravitasi, volume displasmen objek dan hambatan terhadap laju jangkar.

Menghitung energi yang dihasilkan jangkar dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama adalah menghitung kecepatan jatuhnya jangkar dengan persamaan DNV-RP-F107, Eq. 13 berikut:

$$m - (V \times \rho_{water}) \times g = \frac{1}{2} \rho_{water} \times C_D \times A \times V_T^2 \quad (4.4)$$

Dimana :

m = Berat jangkar, (kg)

= 1590 kg

g = Kecepatan gravitasi, (9.81 m/s^2)

= $9,81 \text{ m/s}^2$

V = Volume jangkar, (m^3)

= $1,41 \text{ m}^3$

ρ_{water} = Berat jenis air laut, (1025 kg/m^3)

= 1025 kg/m^3

C_D = Koefisien *Drag* jangkar

= 0,7

C_a = Koefisien berat *drag* tambahan

= 1

A = Proyeksi luasan jangkar, (m^2)

= $2,2 \text{ m}^2$

V_T = **Kecepatan jatuhnya jangkar, (m/s)**

= $7,319 \text{ m/s}$

Untuk koefisien *drag* dapat dilihat pada **tabel 4.19** sesuai dengan DNV-RP-F107.

Tabel 4.19 Drag Coefficient, DNV-RP-F107

Cat. No.	Description	C _D	C _A
1,2,3	Slander Shape	0.7-1.5	0.1-1.0
4,5,6,7	Box Shaped	1.2-1.3	0.6-1.5
All	Misc. shapes (spherical to complex)	0.6-2.0	1.0-2.0

Kesimpulan dari kecepatan terminal sesuai dengan tipe kapal yaitu pada **tabel 4.25**.

Tabel 4. 25 Kecepatan Terminal Jangkar Sesuai Berat Jangkar

Group	Berat Jangkar (kg)	Kecepatan Terminal (m/s)
A	1590	7.319
B	3300	8.105
C	4650	8.090
D	7800	9.415
E	9300	9.685
F	10500	9.845
G	11100	9.983
H	10200	9.775
I	10130	9.741

c. Impact Effective

Kemudian menghitung Energi *Impact* Efektif (E_E) dari jangkar dengan persamaan DNV-RP-F107, Eq. 16 :

$$E_E = \frac{1}{2}(m + m_a) \times V_T^2 \quad (4.5)$$

Dimana :

m_a = berat tambahan, (kg)

$$= \rho_{\text{water}} \times C_a \times V$$

$$= 1025 \times 0,9 \times 0,2$$

$$= 186,85 \text{ kg}$$

C_a = Koefisien *drag* berat tambahan

$$\begin{aligned}
 &= 0,9 \\
 V_T &= \text{Kecepatan jatuhnya jangkar, (m/s)} \\
 &= 7,319 \text{ m/s} \\
 E_e &= \text{Energi Impact Efektif} \\
 &= 47,59 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Berat tambahan pada jangkar merupakan berat akibat dari gaya mekaik fluida akibat pergerakan jangkar tersebut. Besarnya berat tambahan bergantung daripada volume dan bentuk dari benda tersebut. Kesimpulan dari nilai *impact* yang menimpa pipa sesuai tipe kapal, bisa dilihat pada **tabel 4.26**.

Tabel 4. 26 *Impact Effective* dari Seluruh Tipe Jangkar

Group	Berat Jangkar (kg)	Massa Tambahan (kg)	Kecepatan Terminal (m/s)	Impact Energy (kJ)	Ranking
A	1590	186.85	7.319	47.5959	1
B	3300	387.80	8.105	121.131	1
C	4650	546.45	8.090	170.039	1
D	7800	916.62	9.415	386.362	3
E	9300	1092.90	9.685	487.416	3
F	10500	1233.92	9.845	568.66	4
G	11100	1304.43	9.983	618.067	4
H	10200	1198.66	9.775	544.547	4
I	10130	1190.44	9.741	537.099	4

4.3.2.4 Penilaian Konsekuensi Akibat Dragged Anchor

Sama halnya dengan penilaian konsekuensi akibat *dropped anchor*, perhitungan konsekuensi *dragged anchor* menggunakan *standard* sesuai dengan DNV-RP-107 dan DNV-RP-F111. Dimana ukuran kapal, berat jangkar terbesar dan data pipa menjadi data utama. Namun untuk penilaian ini menggunakan skenario pengaruh energi *impact*, *pull over* dan *hooking* dari jangkar ke pipa. Sehingga data kecepatan kapal,

gaya hidrodinamik jangkar dan beberapa koefisien terkait *dragged anchor* menjadi penting.

Skenario tambahan untuk *dragged anchor* adalah adanya tambahan energi yang dihasilkan dari *thrust* mesin utama kapal dan energi dari *windlass* jangkar saat menarik jangkar. Jadi energi total dari jangkar melalui beberapa skenario diatas akan dijumlah untuk mendapatkan hasil energi total yang bekerja pada pipa.

a. Energi dari Jangkar

i. Impact

Untuk energi yang diserap selama *impact* terjadi dapat dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 3.1 di bawah ini :

$$E_s = R_{fs} \times \frac{1}{2} \times m_t (C_h \times V)^2 \quad (4.6)$$

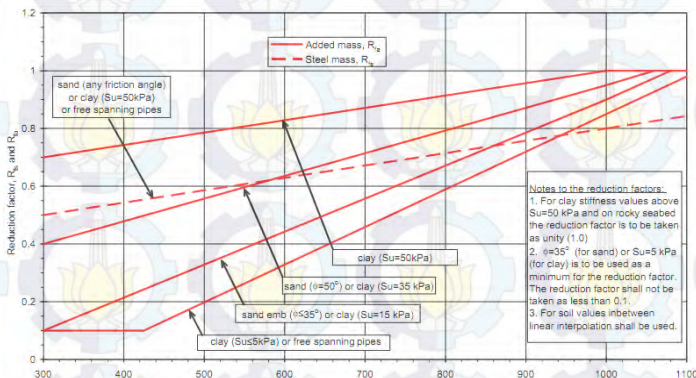
Dimana :

E_s = Energi tubrukan (kJ)

= 0,352 kJ

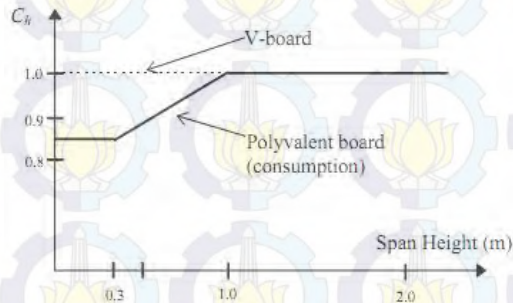
R_{fs} = Faktor reduksi, lihat **gambar 4.9**.

= 0.58



Gambar 4. 8 Tabel factor reduksi, tabel 3-3 DNV-RP-F111

m_t = Masa baja jangkar (kg)
 = 1590 kg
 C_h = Koefisien efek ketinggian span, lihat **gambar 4.10.**
 = 0,85



Gambar 4. 9 Grafik C_h , gambar 3-1 DNV-RP-F111

V = Kecepatan (m/s)
 = 1,029 m/s = 2 knot

Untuk gaya *impact* yang disebabkan oleh *hydrodynamics added mass* dapat dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 3.2 di bawah ini.

$$F_b = C_h \times V \times \sqrt{m_a \times k_b} \quad (4.7)$$

Dimana :

F_b = Gaya tubrukan (kN)
 = 37,80 kN

C_h = Koefisien kecepatan
 = 0.85

V = Kecepatan (m/s)
 = 1,029 m/s

m_a = Masa hidrodinamik jangkar (kg)

$$\begin{aligned}
 &= 186,85 \text{ kg} \\
 k_b &= \text{Kekuatan lentur jangkar (MN/m)} \\
 &= 10
 \end{aligned}$$

Yang mana pada DNV-RP-F111 memberikan persamaan untuk menghitung energi yang dihasilkan oleh *hydrodynamics added mass* (dibatasi oleh energi maximum yang ada) seperti pada persamaan DNV-RP-F111, Eq. 3.3 dibawah ini.

$$E_a = R_{fa} \times \frac{2(F_b)^3}{75 \times f_y^2 \times t^3} \leq \frac{1}{2} m_a (C_h \times v)^2$$

Dimana :

E_a = Energi tubrukan akibat tambahan masa hidrodinamik
 $= 0,779 \leq 7,147 \text{ kJ}$

R_{fa} = Masa tambahan asosiasi
 $= 0,8$

F_b = Gaya akibat tubrukan (kN)
 $= 37,80 \text{ kN}$

C_h = Koefisien kecepatan
 $= 0,85$

V = Kecepatan (m/s)
 $= 1,029 \text{ m/s}$

m_a = Masa hidrodinamik jangkar (kg)
 $= 186,85 \text{ kg}$

f_y = SMYS (N/m²)
 $= 4,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

t = Tebal dinding pipa
 $= 0,0194 \text{ m}$

ii. Pull-Over

Untuk *dimensionless height* dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 4.6 seperti di bawah ini.

$$\bar{H} = \frac{H_{sp} + OD/2 + 0.2}{B}$$

Dimana :

\bar{H} = Dimensi Tinggi (m)

= 0,618 m

H_{sp} = Tinggi span (jarak pipa ke dasar laut)

= 0 m

OD = Diameter pipa keseluruhan (m)

= 0,5274 m

B = Setengah dari tinggi (m)

= 0,75 m

Untuk *warp stiffness* dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 4.9 dibawah ini.

$$kw = \frac{3.5 \times 10^7}{L_w}$$

Dimana :

kw = Warp line stiffness (N/m)

= 400 kN/m

L_w = Warp line length (m), 3 x kedalaman laut

= 87,5 m

Untuk gaya maksimum *horizontal* pipa dapat dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 4.3 seperti di bawah ini.

$$F_p = C_f \times V \times [(m_t + m_a) \times k_w]^{1/2}$$

Dimana :

F_p = Gaya tarikan maksimum horizontal (kN)
= 3001,56 kN

C_F = Koefisien geometri jangkar-pipa, equation 4.7 DNV-RP-F111
= 3,46

V = Kecepatan (m/s)
= 1,029 m/s

k_w = *Warp line stiffness* (N/m)
= 400 kN/m

m_t = Masa baja jangkar (kg)
= 1590 kg

Untuk gaya maksimum *vertical* pipa dapat dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq.4.10 seperti di bawah ini.

$$F_z = F_p (0.2 + 0.8 \times e^{-2.5\bar{H}})$$

Dimana:

F_z = Gaya vertikal maksimum (kN)
= 1112,19 kN

F_p = Gaya tarikan maksimum (kN)
= 3001,56 kN

\bar{H} = Dimensi tinggi
= 0,618 m

Untuk *pull-over time duration* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan DNV-RP-F111, Eq. 4.20 seperti di bawah ini.

$$T_p = C_T \times C_F \left(\frac{m_t}{k_w} \right)^{1/2} + \frac{\delta_p}{V}$$

Dimana:

T_p = Total waktu *pull over*
= 11,38 s

C_F = Koefisien geometri jangkar-pipa, equation 4,7 DNV-RP-F111
= 3,46

k_w = *warp line stiffness*
= 400 kN

m_t = massa baja jangkar
= 1590 kg

Maka besarnya energi yang bekerja pada saat *pull-over* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti di bawah ini.

$$E = F_z \times S \quad (4.7)$$

Dimana :

$$S = V \times t$$

S = Jarak tempuh jangkar
= 11,7 m

V = kecepatan jangkar
= 1,029 m/s

T = waktu tempuh jangkar
= 11,38 s

F_z = Gaya vertical maksimum
= 1112,19 kN

E = Energi Impact
= 13,02 kJ

iii. Hooking

Untuk maksimum *lifting height* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan DNV-RP-F111, Eq.5.4 sebagaimana dijelaskan dibawah ini :

$$H_l = 0.7B - 0.3OD$$

Dimana:

B = Setengah tinggi jangkar

= 1,75 m

OD = *Outside Diameter*

= 0,5274 m

H_l = Tinggi gaya angkat static (m)

= 1,066 m

Maka besarnya energi yang bekerja pada saat *hooking* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini.

$$E = (0.5 m_a \times v^2) \quad (4.8)$$

Dimana:

m_a = Massa hidrodinamik jangkar (kg)

= 186,85 kg

v = kecepatan jangkar

= 1,029 m/s

E = Energi kinematic hooking

= 0,098 kJ

Karena energi yang bekerja pada jangkar terhadap pipa merupakan gabungan antara *impact*, *pull-over*, dan *hooking* maka total energinya merupakan penjumlahan dari ketiganya seperti pada persamaan dibawah ini.

$$\begin{aligned} E_{\text{total}} &= E_{\text{impact}} + E_{\text{pull-over}} + E_{\text{hooking}} \\ &= 7,147 + 13,026 + 0,098 \\ &= 20,27 \text{ kJ} \end{aligned}$$

b. Energi dari *Main Engine*

Energi dorong dari *main engine* dihitung berdasarkan *power* dari engine kapal. Referensi *power* didapatkan dari register kapal yang bersangkutan. Contoh data kapal bisa dilihat pada **tabel 4.27**.

Tabel 4. 27 Data kapal untuk perhitungan *thrust*

Data Kapal	Unit	Nilai
L	m	75.4
B	m	12.5
T	m	4.4
H	m	5.4
Cb	-	0.58
Vs	knot	8
BHP engine	HP	1251
Pc		0.62328
ηH		1.031579
η_{rr}		1.06
η_o		0.57
η_s		0.98
t		0.216
w		0.24
k		0.9

Berikut adalah tahapan-tahapan untuk menghitung besarnya *thrust* kapal dengan cara menghitung maju dari BHP MCR sampai didapatkan besarnya *thrust* :

$$\begin{aligned} BHP\ SCR &= BHP\ MCR \times 0.85 \\ &= 1063,35\ HP \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SHP &= BHP\ SCR \times \eta_s \\ &= 1042,083\ HP \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DHP &= SHP \times \eta_G \\ &= 1021,241\ HP \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EHP &= DHP \times P_C \\ &= 636,519\ HP \\ &= 467,841\ kW \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{EHP}{v_s} \\ &= 58,48\ kN \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= \text{thrust deduction factor} \\ &= k \times w \\ &= 0,216 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= \text{wake friction} \\ &= 0,5\ C_b - 0,05 \\ &= 0,24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= 0,7 \text{ sampai } 0,9 \\ &= 0,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_C &= \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_p \\ &= 0,623 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_H &= \text{hull efficiency} \\ &= \frac{(1-t)}{(1-w)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,031 \\
 \eta_{rr} &= \text{relative rotative efficiency} \\
 &= 1.04 \\
 \eta_o &= \text{propulsive efficiency} \\
 &= 0.6 \\
 \eta_s &= \text{shaft efficiency} \\
 &= 0,98
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya *thrust* adalah :

$$T = \frac{R}{(1-t)} \quad (4.9)$$

$$= 74,59 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Energi thrust} &= \text{Thrust} \times \text{jarak} \\
 &= 231,23 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

c. Energi dari Rantai Jangkar

$$\begin{aligned}
 \text{Volume rantai jangkar} &= \text{Panjang rantai} \times \text{luas lingkaran rantai} \\
 &= 12.5 \times 0.034 \\
 &= 0,425 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Densitas air laut} = 1025 \text{ kg/ m}^3$$

$$\text{Berat rantai} = 454,78 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya rantai} &= \text{Berat rantai} / \sin 90^\circ \\
 &= 454,78 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Energi rantai} &= \text{Gaya rantai} \times \text{jarak} \\
 &= 15,91 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Kesimpulan dari nilai konsekuensi *dragged anchor* sesuai penjumlahan energy dari rantai jangkar, *thrust* kapal dan *trawl*. Berdasarkan variasi kecepatan kapal dan tipe kapal, maka nilai dari penilaian risiko terhadap *dragged anchor* bisa dilihat pada tabel 4.28.

Tabel 4. 28 Kesimpulan Energi *Dragged Anchor* Sesuai Variasi Kecepatan

Kecepatan (knot)	Group	Energi <i>Dragged Anchor</i> (kJ)	Ranking
2	A	255.70	2
	B	264.90	2
	C	272.15	2
	D	289.09	2
	E	297.15	2
	F	303.61	2
	G	306.83	2
	H	301.99	2
	I	301.62	2
4	A	259.91	2
	B	273.62	2
	C	284.45	2
	D	309.72	2
	E	321.75	2
	F	331.37	2
	G	336.19	2
	H	328.97	2
	I	328.41	2
6	A	266.91	2
	B	288.17	2
	C	304.94	2
	D	344.09	2
	E	362.74	2
	F	377.65	2
	G	385.11	2
	H	373.92	2
	I	373.05	2

4.3.2.5 Penilaian Konsekuensi Akibat Sinking Vessels

Penilaian konsekuensi *sinking vessels* sedikit berbeda dengan *dropped anchor* dan *dragged anchor*, hanya objek yang memberikan energi pada pipa yaitu kapal. Hal tersebut juga akan memberikan gaya yang berbeda pada pipa. Berat kapal, ukuran kapal dan luasan yang mengenai pipa akan mempengaruhi tingkat *strees* yang diterima pipa. Tipe dan spesifikasi yang digunakan untuk penilaian risiko konsekuensi *sinking vessel* bisa dilihat pada **tabel 4.29**.

Tabel 4. 29 Spesifikasi Kapal Berdasarkan Ukuran Kapal

Group	Nama Kapal	Gross Tonnage	Dimensi Kapal (m)			Cb
			Panjang	Lebar	Sarat	
A	Fugro Supporter	2065	75.4	12.5	5.4	0.58
B	Ketaling	5119	105	18.8	5.3	0.82
C	Providence	9738	143.1	22	5.2	0.78
D	Durgandini	21853	179.9	28	7.1	0.78
E	Ridgebury John	28063	177.6	32.2	18.1	0.82
F	Ostende Max	38489	225	32.3	17.8	0.75
G	Concertina	52048	232	42	20.3	0.82
H	Jag Leela	58374	243.5	42	20	0.78
I	Gede	63005	244	44	21.5	0.78

a. Terminal Energy

Energi terminal adalah energi yang diterima pipa dari skenario *sinking vessel* dimana nilai energi terminal ini bergantung dari objek kapal yang menimpa. Sesuai *equation 15*, DNV-RP-F107.

$$E_T = \left(\frac{m \times g}{C_d \times A} \right) \times \left(\frac{m}{\rho_{water}} - V \right) \quad (4.10)$$

Dimana :

m = berat kapal, (kg)

m	$= 6.137.021 \text{ kg}$
g	$= \text{kecepatan gravitasi, } (9.81 \text{ m/s}^2)$
	$= 9,81 \text{ m/s}^2$
V	$= \text{volume kapal, } (\text{m}^3)$
	$= 2951,91 \text{ m}^3$
ρ_{water}	$= \text{Berat jenis air laut, } (1025 \text{ kg/m}^3)$
	$= 1025 \text{ kg/m}^3$
C_D	$= \text{Koefisien Drag}$
	$= 1,5$
A	$= \text{Proyeksi luasan kapal, } (\text{m}^2)$
	$= 942,5 \text{ m}^2$
V_T	$= \text{Kecepatan jatuhnya kapal, } (\text{m/s})$
	$= 7,949 \text{ m/s}$

Kesimpulan dari terminal energy sesuai dari tipe kapal bisa dilihat pada **tabel 4.30**.

Tabel 4. 30 Terminal Energi Akibat *Sinking Vessel*

Group	Berat Kapal (kg)	Proyeksi Luasan (m ²)	Volume Kapal (m ³)	Energi (kJ)
A	6137020.89	942.5	2951.91	129262.89
B	17835749.32	1974	8579	521285.42
C	26546957.24	3148.2	12769.1	724114.41
D	57995812.27	5037.2	27896	2159951.90
E	176459786.6	5718.72	84877.2	17612973.06
F	201706918.9	7267.5	97021.1	18109086.99
G	337210939.3	9744	162199	37749051.08
H	331686154.8	10227	159541	34797371.18
I	374308814.9	10736	180043	42214107.44

b. Terminal Velocity

Menghitung energi yang dihasilkan kapal dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama adalah menghitung kecepatan jatuhnya kapal dengan persamaan DNV-RP-F107, Eq. 13 berikut:

$$m - (V \times \rho_{water}) \times g = \frac{1}{2} \rho_{water} \times C_D \times A \times V_T^2 \quad (4.11)$$

Dimana :

m = Massa kapal, (kg)

= 6.137.021 kg

g = Kecepatan gravitasi, (9.81 m/s²)

= 9,81 m/s²

V = Volume kapal, (m³)

= 2951,91 m³

ρ_{water} = Berat jenis air laut, (1025 kg/m³)

= 1025 kg/m³

C_D = Koefisien Drag

= 1

A = Proyeksi luasan kapal (m²)

= 942,5 m²

V_T = Kecepatan jatuhnya kapal, (m/s)

= 7,949 m/s

Untuk koefisien *drag* dapat dilihat pada **tabel 4.31** sesuai dengan DNV-RP-F107.

Tabel 4. 31 Drag Coefficient, DNV-RP-F107

Cat. No.	Description	C_D	C_A
1,2,3	Slander Shape	0.7-1.5	0.1-1.0
4,5,6,7	Box Shaped	1.2-1.3	0.6-1.5
All	Misc. shapes (spherical to complex)	0.6-2.0	1.0-2.0

Kesimpulan dari kecepatan terminal sesuai dengan tipe ,dimensi dan spesifikasi kapal yaitu pada **tabel 4.32**.

Tabel 4. 32 Kecepatan Terminal Berdasarkan Berat Kapal

Group	Berat Kapal (kg)	Proyeksi Luasan (m ²)	Volume Kapal (m ³)	Kecepatan Terminal (s)
A	6137020.89	942.5	2951.91	6.49
B	17835749.32	1974	8579	7.65
C	26546957.24	3148.2	12769.1	7.39
D	57995812.27	5037.2	27896	8.63
E	176459786.6	5718.72	84877.2	14.13
F	201706918.9	7267.5	97021.1	13.40
G	337210939.3	9744	162199	14.96
H	331686154.8	10227	159541	14.49
I	374308814.9	10736	180043	15.02

c. Energy Impact Effective

Kemudian menghitung Energi impact Efektif (E_E) dari jangkar dengan persamaan DNV-RP-F107, Eq. 16 :

$$E_E = \frac{1}{2} (m + m_a) \times V_T^2 \quad (4.12)$$

Dimana :

E_E = Energy Impact Effective

= 186.619,79 kJ

m = Massa kapal

= 6.137.021 kg

m_a = berat tambahan, (kg)

= $\rho_{\text{water}} \times C_a \times V$

= 1025 x 1 x 2951,91

= 2.723.137 kg

C_a = Koefisien *drag* berat tambahan

= 1

Kesimpulan dari nilai *impact* yang menimpa pipa sesuai tipe kapal, bisa dilihat pada **tabel 4.33**.

Tabel 4. 33 *Impact Effective* akibat *Sinking Vessel*

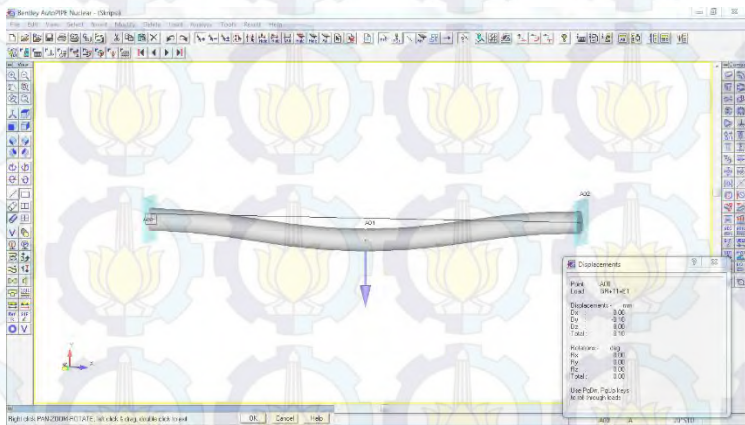
Group	Berat Kapal (kg)		Ranking		
A	6137020.89	2723136.98	6.49	186619.7946	5
B	17835749.32	7914131.19	7.65	752591.7163	5
C	26546957.24	11779494.01	7.39	1045420.588	5
D	57995812.27	25734072.55	8.63	3118372.12	5
E	176459786.6	78299255.97	14.13	25428253.31	5
F	201706918.9	89501987.81	13.40	26144504.38	5
G	337210939.3	149628230.64	14.96	54499171.15	5
H	331686154.8	147176757.00	14.49	50237763.16	5
I	374308814.9	166089409.20	15.02	60945475.47	5

4.3.3 Simulasi *Dropped Anchor* dengan AutoPipe

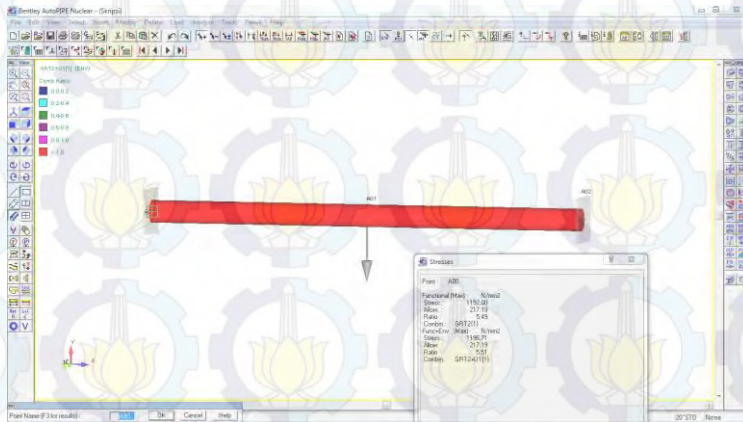
Simulasi dan pemodelan *dropped anchor* dilakukan untuk melihat dampak yang dialami pipa gas bawah laut akibat kejatuhan jangkar. *Input* data yang dimasukkan dalam simulasi menggunakan standar ASME 31.8 tentang distribusi gas untuk *offshore facility*. Data input bisa dilihat pada **gambar 4.11**.

Gambar 4. 10 *Input Data* pada AutoPipe

Setelah data dimasukkan untuk membuat geometri pipa, kemudian input *load* beban pada pipa dilakukan. Sebagai contoh pemodelan, beban yang digunakan adalah jangkar terbesar dengan massa 11100 kg. Hasil akhir dari pemodelan tersebut adalah deformasi pada pipa, pada **gambar 4.12**. Dan *stress load* pada pipa, ditunjukkan pada **gambar 4.13**.



Gambar 4. 11 Deformasi pada Pipa Setelah Pembebanan



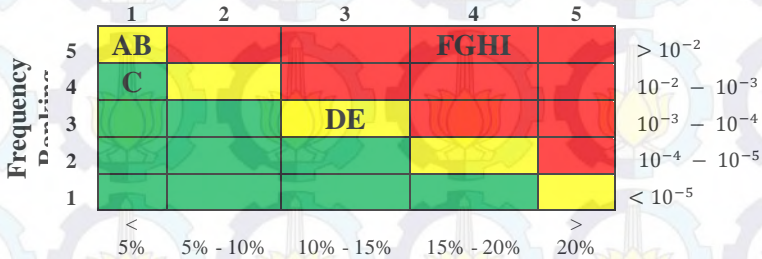
4.3.4 Risk Matrix

Risk matrix merupakan penggabungan terhadap penilaian frekuensi dan konsekuensi dalam bentuk rangking. Sesuai *risk matrix* dari DNV-RP-F07, di sini akan menggunakan *matrix* 5x5. Sesuai hasil sebelumnya dari penilaian frekuensi dan konsekuensi akibat *dropped anchor*, *dragged anchor* dan *sinking vessels*, rangking yang dihasilkan diplotkan di *risk matrix* tersebut agar dapat diketahui tingkat risiko dari masing-masing *hazard*.

Jika hasil rangking setelah diplot pada *risk matrix* dan berada pada level ALARP (*As Low As Reasonable Practicable*) maupun level tidak dapat diterima, maka mitigasi pun bisa dilakukan untuk mengurangi frekuensi bahaya, konsekuensi atau keduanya. Dari hasil mitigasi pun juga harus dipastikan bisa mengurangi frekuensi atau konsekuensi dengan cara mengulangi proses penilaian risiko yang sama. Sehingga hasil akhir yang didapatkan dari penilaian risiko bisa dibuat untuk bahan pertimbangan untuk pelaksanaan suatu *project*.

4.3.4.1 Risk Matrix Akibat Dropped Anchor

Consequence Ranking

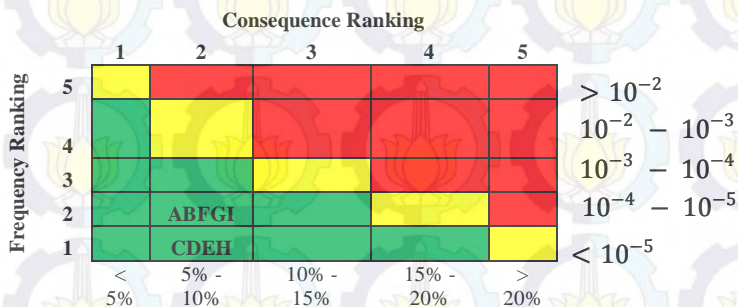


Data *risk matrix* diatas menunjukkan bahwa penilaian risiko terhadap *dropped anchor* pada posisi *acceptable* untuk tipe kapal C. Untuk kapal A,B,D,E berada pada daerah ALARP. Dan kapal F,G,H,I berada pada daerah *not acceptable*. Nilai tersebut dihitung dengan kondisi pipa terletak diatas *seabed*. Tabel diatas menggunakan variasi kecepatan kapal 2 knot. Untuk lebih jelas bisa dilihat pada **tabel 4.34**.

Tabel 4. 34 Hasil Input Risk Matrix dropped Anchor

Group	Ukuran Kapal (GT)	Frekuensi	Ranking	Konsekuensi	Ranking
A	2000	1.34E-01	5	47.60	1
B	5000	2.07E-01	5	121.13	1
C	10000	4.68E-02	4	170.04	1
D	20000	8.73E-02	4	386.36	3
E	30000	9.29E-02	4	487.42	3
F	40000	4.30E-01	5	568.66	4
G	50000	1.95E-01	5	618.07	4
H	60000	2.21E-01	5	544.55	4
I	70000	2.32E-01	5	537.10	4

4.3.4.2 Risk Matrix Akibat Dragged Anchor



Data *risk matrix* diatas menunjukkan bahwa penilaian risiko terhadap *dragged anchor* pada posisi *acceptable* untuk tipe kapal A,B,C,D,E,F,G,H dan I. Nilai tersebut dihitung dengan kondisi pipa terletak diatas *seabed*. Tabel diatas menggunakan variasi kecepatan kapal 2 knot. Untuk lebih jelas bisa dilihat pada **tabel 4.35**.

Tabel 4. 35 Hasil Input Risk Matrix Dragged Anchor

Group	Ukuran Kapal (GT)	Frekuensi	Ranking	Konsekuensi	Ranking
A	2000	1.06E-04	2	255.70	2
B	5000	1.55E-04	2	264.90	2
C	10000	3.41E-05	1	272.15	2
D	20000	6.07E-05	1	289.09	2
E	30000	6.50E-05	1	297.15	2
F	40000	2.91E-04	2	303.61	2
G	50000	1.31E-04	2	306.83	2
H	60000	7.38E-05	1	301.99	2
I	70000	1.55E-04	2	301.62	2

4.3.4.3 Risk Matrix Akibat Sinking Vessels

		Consequence Ranking					
		1	2	3	4	5	
Frequency Ranking	5						$> 10^{-2}$
	4						$10^{-2} - 10^{-3}$
	3						$10^{-3} - 10^{-4}$
	2						$10^{-4} - 10^{-5}$
	1					ABCDFGHI	
		< 5%	5% - 10%	10% - 15%	15% - 20%	> 20%	

Data *risk matrix* diatas menunjukkan bahwa penilaian risiko terhadap *sinking vessel* pada posisi ALARP untuk tipe kapal A,B,C,D,E,F,G,H dan I. Nilai tersebut dihitung dengan kondisi pipa terletak diatas *seabed*. Tabel diatas menggunakan variasi kecepatan kapal 2 knot. Untuk lebih jelas bisa dilihat pada **tabel 4.36**.

Tabel 4. 36 Hasil Input Risk Matrix Sinking Vessel

Group	Ukuran Kapal (GT)	Frekuensi	Ranking	Konsekuensi	Ranking
A	2000	4.67E-07	1	186619.79	5
B	5000	5.38E-07	1	752591.72	5
C	10000	5.18E-08	1	1045420.59	5
D	20000	3.97E-08	1	3118372.12	5
E	30000	1.54E-07	1	25428253.31	5
F	40000	8.18E-07	1	26144504.38	5
G	50000	2.01E-07	1	54499171.15	5
H	60000	9.54E-08	1	50237763.16	5
I	70000	5.73E-08	1	60945475.47	5

4.4 Mitigasi

Dari analisis sebelumnya bisa dilihat bahwa *risk matrix* menunjukkan hasil risiko yang dapat diterima. Akan tetapi mengingat dari lokasi pipa yang terletak pada area labuh jangkar dan dalam keadaan tidak tertanam, maka potensi dari kapal-kapal yang akan melego jangkar di area *critical* pipa masih tetap ada. Untuk itu, pada daerah ini tetap direkomendasikan untuk dilakukan penambahan proteksi dari pipa.

Beberapa macam desain proteksi yang bisa dilakukan untuk mengurangi dampak *impact* dari objek jangkar ke pipa yaitu *concrete blankets*, *sand bags* dan *trenching*. Setiap proteksi tersebut juga mempunyai nilai energy yang dapat diserap akibat *impact*. Sesuai pada tabel 8 DNV-RP-F107, energy yang mampu diserap pipa bisa dilihat pada **gambar 4.14:**

Table 8 Other protection methods		
Method	Description	Impact resistance
Concrete blankets	Concrete blankets are well suited for low energy impacts (e.g. trawl board impacts). In general, individual cones of concrete have only limited impact capacity (in the order of 3 kJ), however several cones may be activated during an impact. Note that the stability of such blankets need to be confirmed.	5 – 20 kJ
Sand bags	Sand bags are normally used to build artificial supports. Can be used for protection.	5 – 10 kJ (assumed)
Trenching	Trenching without backfilling will have a positive but limited effect against dropped objects, ships sinking, etc, as these will reduce the possibility to hit the pipeline/umbilical depending on the width of the trench and the size of the impacting object. (i.e. only direct hits will be accounted for)	N.A.

Gambar 4. 13 Kekuatan *Impact* dari Proteksi Sesuai DNV-RRP-F107

Berdasarkan *Equation 6* DNV-RP-F107, untuk menghitung energi dari jangkar yang diserap oleh lapisan tanah tipe *gravel* bisa dilihat sesuai di bawah ini:

$$E_p = 0,5 \cdot \gamma' \cdot D \cdot N_\gamma \cdot z + \gamma' \cdot z^2 \cdot N_q \cdot A_p \quad (4.13)$$

Dimana:

E_p = Absorbed energy

= 61,9 kJ

γ' = *Effective unit weight of the fill material*

= 6 kN/m³

D = Diameter objek

= 0,508 m

A_p = Area objek jangkar

= 2.45 m²

z = Kedalaman *trench*

= 0,5 m

N_γ = Bearing capacity coefficient

= 137

N_q = Bearing capacity coefficient

= 99

Dengan variasi kedalaman yang mungkin bisa dilakukan pada pipa yaitu 0,5 ; 1; 1,5 dan 2 meter di dalam tanah, maka hasil energy yang didapatkan sesuai pada lampiran.

Sedangkan untuk energi yang diserap oleh tanah dari kasus kapal yang tenggelam bisa dilihat pada *equation* berikut:

$$E_p = 0,5 \cdot \gamma' \cdot D \cdot N_\gamma \cdot z + \gamma' \cdot z^2 \cdot N_q \cdot A_p$$

Dimana:

E_p = Absorbed energy

= 238352.6 kJ

γ' = *Effective unit weight of the fill material*

= 6 kN/m³

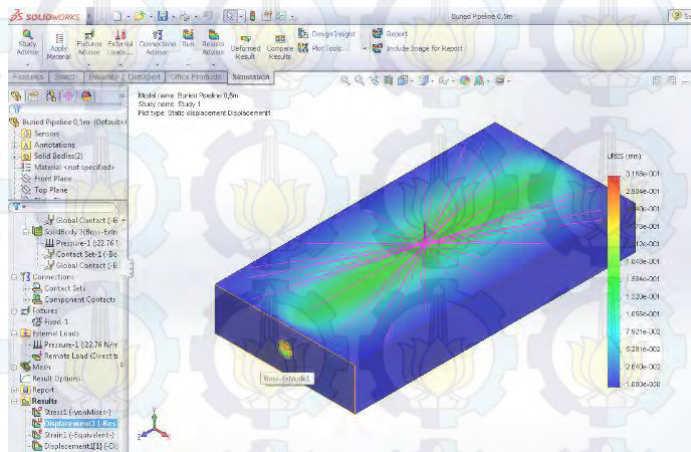
D	= Diameter objek = 0,508 m
A_p	= Area objek jangkar = 942.5 m ²
z	= Kedalaman <i>trench</i> = 0,5 m
N_γ	= Bearing capacity coefficient = 137
N_q	= Bearing capacity coefficient = 99

Jadi, dari hasil pengurangan energy dari jatuhnya jangkar dan tenggelamnya kapal oleh *seabed* bisa dipastikan bahwa pipa akan sangat aman apabila dilakukan pemendaman. Hasil energy dilihat pada simulasi di bawah ini.

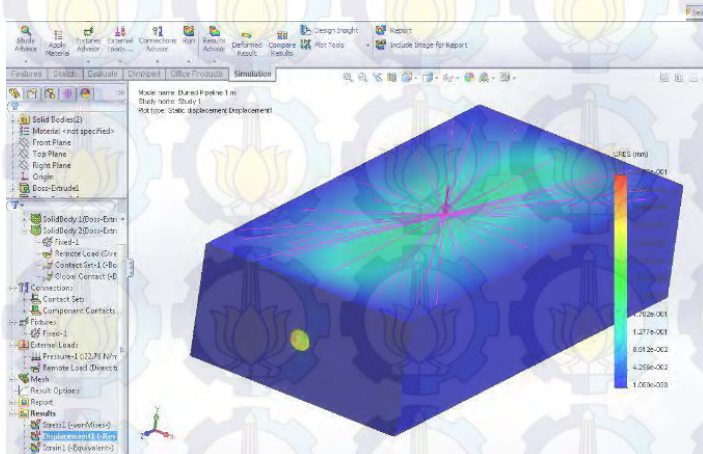
4.4.1 Simulasi dan Pemodelan *Buried Pipeline*

Untuk mengetahui seberapa besar dampak beban yang bekerja yang diserap tanah dan berimbas pada pipa, dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* Solidwork 2013. Variasi kedalaman pipa dalam *seabed* menggunakan kedalaman 0,5 ; 1 dan 1,5 meter. Data tanah menggunakan jenis *siltclay* dan menggunakan asumsi *load* dari beban jangkar, pergeseran permukaan *seabed*, *internal pressure* pada pipa dan *friction* antara permukaan pipa dengan tanah.

Hasil dari simulasi pada kedalaman 0,5 meter ditunjukkan dengan **gambar 4.15**. Simulasi pada kedalaman 1 meter ditunjukkan dengan **gambar 4.16**. Dan terakhir dengan variasi kedalaman 1,5 meter ditunjukkan dengan **gambar 4.17**.

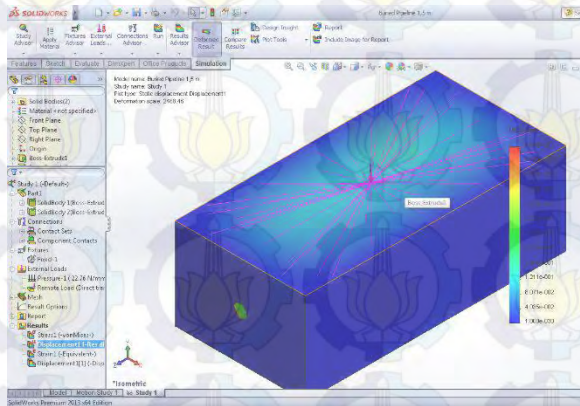


Gambar 4. 15 Simulasi Kedalaman 0,5 meter di Bawah Seabed



Gambar 4. 14 Simulasi Kedalaman 1 meter di Bawah Seabed

Dari ketiga hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kedalaman pipa dipendam, maka semakin kecil dampak *impact* pada pipa. Namun pada saat instalasi, tentunya dari segi keekonomian akan lebih mudah dan tidak membutuhkan biaya yang besar untuk pemendaman pipa dengan kedalaman yang terkecil.



Gambar 4. 16 Simulasi Kedalaman 1,5 meter di Bawah Seabed

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penilaian risiko telah dilakukan terhadap pipa gas bawah laut yang melewati daerah labuh jangkar, dimana hasil akhir dari penilaian tersebut digambarkan dalam *risk matrix*. Hasil tersebut memberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Risiko akibat *dropped anchor* menunjukkan tingkat risiko berada pada daerah yang dapat diterima (*acceptable*), daerah ALARP dan daerah *not acceptable*. Nilai tersebut berlaku untuk variasi kecepatan 2, 4 dan 6 knot berdasarkan semua tipe kapal.
2. Risiko akibat *dragged anchor* menunjukkan tingkat risiko berada pada daerah yang dapat diterima (*acceptable*). Nilai tersebut berlaku untuk variasi kecepatan 2, 4 dan 6 knot berdasarkan semua tipe kapal.
3. Risiko akibat *sinking vessel* menunjukkan tingkat risiko berada pada daerah ALARP (*As Low As reasonably Practicable Risk*). Nilai tersebut berlaku untuk variasi kecepatan 2, 4 dan 6 knot berdasarkan semua tipe kapal.
4. Berdasarkan simulasi menggunakan AutoPipe, pipa gas bawah laut menunjukkan bahaya pecah. Hal tersebut terjadi dengan pemodelan pemberian beban kejatuhan dengan jangkar terbesar dan kapal tenggelam.
5. Perlu adanya mitigasi pada pipa gas bawah laut, dikarenakan tingkat konsekuensi yang mungkin terjadi pada pipa dengan kemungkinan rusak akibat dari *dropped anchor*, *dragged anchor* dan *sinking vessel*. Mitigasi tersebut bisa berupa dengan pemendaman pipa dengan kedalaman minimal 1.5 meter di bawah *seabed*. Hal ini karena energi yang dapat diserap oleh tanah

hampir seluruhnya bisa menyerap energi dari jangkar yang jatuh dan kapal tenggelam.

5.2 Saran

Setelah melakukan penilaian risiko pada pipa gas yang melewati daerah labuh jangkar dan dengan melihat hasil kesimpulan yang ada, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Penggunaan data yang tepat dan lebih detail sebaiknya digunakan untuk menggantikan data yang beberapa masih menggunakan asumsi, sehingga nantinya hasil yang didapatkan bisa lebih akurat.
2. Sesuai hasil dari penilaian risiko pada area labuh jangkar, hasil alternatif mitigasi yang bisa dilakukan adalah mengubur pipa dengan kedalaman tertentu. Hal tersebut sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No 68 Tahun 2011 tentang Alur Pelayaran pasal 45, dimana alur pelayaran dengan kedalaman 20-40 meter kabel laut dan pipa bawah laut harus dipendam dua meter di bawah permukaan dasar laut.
3. Pemberian alat penanda navigasi di beberapa titik jalur pipa gas untuk memperkecil kemungkinan adanya aktifitas di sekitar daerah pipa gas.
4. Dalam melakukan pemodelan atau simulasi, diperlukan data pipa dan desain lingkungan pipa bawah laut yang lebih detail, sehingga simulasi bisa mewakili secara benar sesuai kondisi oprasional pipa.

DAFTAR PUSTAKA

- American Bureau of Shipping, Guidance Notes on Risk Assessment, Applications for the Marine and Offshore Oil and Gas Industries.* 2000.
- Antara, Dwi Suasti. 2013. *Penilaian Risiko Jalur Pipa Gas dengan Menggunakan DNV-RP-F107, Studi Kasus: Husky-CNOOC Madura Ltd. Pasuruan, Jawa Timur.* Skripsi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya.
- Artana, K. B. (2009, Februari 6). *Penilaian Risiko Pipa Gas Bawah Laut Ujung Pangkah-Gresik Dengan Standard DNV RP F107.* Jurnal Teknik Mesin, 28-42.
- ASME B31.8. 2003. *Gas Transmission and Distribution Piping Systems.*
- Ditjen MIGAS Indonesia, 2012. *Statistik Gas Bumi Indonesia.*
- DNV-RP-F107. 2010. *Risk Assessment of Pipeline Protection.* Det Norske Veritas.
- DNV-RP-F111. 2010. *Interference Between Trawl Gear and Pipelines.* Det Norske Veritas.
- Kvitrud, A. 2005. *In Service Experiences of Anchoring Systems in Norway 1996-2005.* Elsevier.
- Indonesian Oil and Gas Company Registration Services. *Permen ESDM No. 27 Th 2008 tentang Usaha Penunjang Minyak dan Gas Bumi,* <http://www.infomigas.co.id/#!/services/c1y76> diakses pada tanggal 8 Desember 2013.
- Utama, Gde Wahyu. 2012. *Risk Assessment Jalur Pipa Gas Offshore Labuhan Maringgai-Muara Bekasi: Studi Kasus Risiko Akibat Dropped Anchor, Dragged Anchor dan Sinking Vessels.* Skripsi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya.

Yan, Shuwang. 2011. *Risk Assessment on a Pipeline Through a Ship Mooring Area*. Elsevier.

Zaky, Moch. 2012. *Marine Safety in Indonesia Waters and Some Insights Gained from the European Experience*. Elsevier.

<http://rahmat88aceh.wordpress.com/2010/01/08/pengenalan-software-Autopipe/>. Diakses pada tanggal 16 Januari 2014 pada jam 17.07 WIB

<http://ivalgan.blogspot.com/2011/07/sharing-software-Autopipe.html>. Diakses pada tanggal 16 Januari 2014 pada jam 16.55 WIB

<http://gasbumi-alam.blogspot.com/>. Diakses pada tanggal 16 Januari 2014 pada jam 17.58 WIB

Gendalo

Steel Catenary Riser Gendalo

Parameter	Unit	20" Gas Export Pipeline Riser
Riser OD	inch	20
Riser Wall Thickness	mm	27
Azimuth angle	deg	339,08
Distance Between Riser	m	5
SCR hang off angle	deg	14

Process Data-Export Pipeline

Parameter	Unit	20" Gas Export Pipeline Riser
Design Pressure-upper	MPa (psig)	22,76 (3300)
Design Pressure-lower	-	Full vacuum (-0,1 MPa gauge)
Hydrostatic test pressure	Mpa	31,864 (4620)
Internal fluid	-	Dry gas (sweet)
Product density (min/max)	kg/m3	1840/40
Operating gas density	kg/m3	156,2
Material design Temperature (min/max)	°C (F)	65,6/-17,8 (150/0)

Temperature for Mechanical Design - Gendalo Gas Export Pipeline

KP Start (m)	KP End (m)	Temperature (°C)	
		Lower	Upper
0	1580	4	49
1580	6590	4	49
6590	10080	4	49
10080	15080	22	22
15080	94080	22	22
94080	102080	22	22
102080	140380	22	22
140380	143960	22	22
143960	144370	22	22
144370	148340	22	22

Pipeline Design Data

Description	Unit	Gas Export Pipeline	
NPS	-	20	
Outside diameter	mm	508	
Pipeline wall thickness (nominal)	mm	19,4 (water depth \leq 600m)	23,1 (water depth $>$ 600m)
Design code	-	SNI 3474, ASME B31.8, API RP 1111	
Design life	years	20	
Internal corrosion allowance	mm	1	
Internal coating	-	Liquid epoxy	
External corrosion coating	-	3LPE	
Line pipe material	-	API 5L X65 PSL2	
Manufacturing process	-	DSAWL	

Cathodic Protection Design Data

Parameter	Unit	Design Value
Design life	years	20
Anode Material	-	Aluminium alloy (Al-Zn-In)
Anode density	kg/m ³	2750
Anode utilization factor	-	0,8
Seabed soil resistivity	ohm.m	0,495 - 1,5

Soil Data

KP (km)	Water Depth (m)	Soil Type*
0 - 10,08	Varies between 1101 to 200	IV (Clay)
10,08 - 15,08	Varies between 202 to 94	II (Sand)
15,08 - 94,08	Varies between 94 to 44	I (Clay)
94,08 - 102,08	Varies between 73 to 37	III (Clay)
102,08 - 143,96	Varies between 16 to 51	I (Clay)

***Soil Description**

Soil Type	Description
I	Very soft to soft clay. Occasionally with shell fragments, sand pockets and traces of organic matter.
II	Fine to coarse siliceous carbonate to calcareous silica sand. Occasionally with silt, gravels, coralline gravels, shell fragments, gravels and clay pockets.
III	Soft to firm calcareous clay. Occasionally sandy, with few shell fragments, traces of cemented silt pockets, sandpockets and organic matter.
IV	Very soft to soft silty clay Occasionally with few shell fragments and few organic matter.

Sea Water Temperature Profile

Depth (m)	Temperature (°C)
0	26,7
200	17,4
450	13,3
600	8,3
1000	5,6
1101	5

Line Pipe Material - Carbon Steel API 5L X65

Property	Unit	Value
SMYS @ ambient temperature	MPa	450
SMTS @ ambient temperature	MPa	535
Young's modulus, E	GPa	207
Thermal expansion coefficient, α	1/K	$11,7 \times 10^{-6}$
Thermal conductivity	W/m.K	45,3
Density, ρ	kg/m ³	7850
Poisson's ratio, ν	-	0,3
Nominal pipe joint length	m	12,2

Anti Corrosion - 3 Layer Polyethylene (3LPE)

Property	Unit	Value
Minimum total thickness (NPS 20)	mm	3,5
Minimum total thickness (NPS 8)	mm	3,1
Cutback	mm	150
Thermal Conductivity	W/m.K	0,22
Density	kg/m3	940

Internal Coating - Liquid Epoxy

Property	Unit	Value
Thickness (DFT)	microns	60
Cutback	mm	75
Thermal Conductivity	W/m.K	0,22
Density	kg/m3	1180

Concrete Weight Coating

Property	Unit	Value
Water absorption	%	2
Cutback	mm	375
Thermal Conductivity	W/m.K	2,1
Density (dry)	kg/m3	3040

Field Joint Infill Density - Polyurethane Foam (PUF)

Property	Unit	Value
Thickness	mm	To match CWC
Density (dry in-place)	kg/m3	160
Density (saturated)	kg/m3	1025

Armour Rock

Property	Unit	Value
Dry density (single particle)	kg/m ³	2650
Submerged density (single particle)	kg/m ³	1585
Layer void ratio	%	32-43
Bulk density (dry)	kg/m ³	1500-1800
Bulk density (submerged)	kg/m ³	920-1103
Angle of repose	degrees	40
Uplift coefficient	-	0,8

Gehem

Steel Catenary Riser Gehem

Parameter	Unit	16" Gas Export Pipeline Riser
Riser OD	inch	16
Riser Wall Thickness	mm	22,2
Azimuth angle	deg	324
Distance Between Riser	m	5
SCR hang off angle	deg	14

Process Data-Export Pipeline

Parameter	Unit	16" Gas Export Pipeline Riser
Design Pressure-upper	MPa (psig)	22,76 (3300)
Design Pressure-lower	MPa	Full vacuum (-0,1 MPa gauge)
Hydrostatic test pressure	MPa	31,864 (4620)
Internal fluid	-	Dry gas (sweet)
Product density (min/max)	kg/m3	2130/46
Operating gas density	kg/m3	190,2
Material design Temperature (min/max)	°C (F)	65,6/-17,8 (150/0)

Temperature for Mechanical Design - Gehem Gas Export Pipeline

KP Start (m)	KP End (m)	Temperature (°C)	
		Lower	Upper
0	1930	4	49
1930	10430	4	49
10430	16780	4	13
16780	20430	4	7
20430	30430	10	11
30430	51430	22	22
51430	75110	22	22
75110	78090	22	22
78090	78390	22	22
78390	82060	22	22

Pipeline Design Data

Description	Unit	Gas Export Pipeline		
NPS	-	16		
Outside diameter	mm	406,4		
Pipeline wall thickness (nominal)	mm	15,6 (water depth \leq 450m)	18 (water depths 450m to 1000m)	22,5 (water depths > 1000m)
Design code	-	SNI 3474, ASME B31.8, API RP 1111		
Design life	years	20		
Internal corrosion allowance	mm	1		
Internal coating	-	Liquid epoxy		
External corrosion coating	-	3LPE		
Line pipe material	-	API 5L X65 PSL2		
Manufacturing process	-	SMLS or HFW		

Cathodic Protection Design Data

Parameter	Unit	Design Value
Design life	years	20
Anode Material	-	Aluminium alloy (Al-Zn-In)
Anode density	kg/m ³	2750
Anode utilization factor	-	0,8
Seabed soil resistivity	ohm.m	0,362 - 2,97

Soil Data

KP (km)	Water Depth (m)	Soil Type*
0 - 20,43	Varies between 1723 to 148	IV (Clay)
20,43 - 30,43	Varies between 148 to 70	II (Sand)
30,43 - 78,09	Varies between 39 to 16	I (Clay)

*Soil Description

Soil Type	Description
I	Very soft to soft clay. Occasionally with shell fragments, sand pockets and traces of organic matter.
II	Fine to coarse siliceous carbonate to calcareous silica sand. Occasionally with silt, gravels, coralline gravels, shell fragments, gravels and clay pockets.
III	Soft to firm calcareous clay. Occasionally sandy, with few shell fragments, traces of cemented silt pockets, sandpockets and organic matter.
IV	Very soft to soft silty clay Occasionally with few shell fragments and few organis matter.

Sea Water Temperature Profile

Depth (m)	Temperature (°C)
0	27,8
200	10,5
450	7,8
600	6,7
1000	5
1400	3,9
1724	3,9

Line Pipe Material - Carbon Steel API 5L X65

Property	Unit	Value
SMYS @ ambient temperature	MPa	450
SMTS @ ambient temperature	MPa	535
Young's modulus, E	GPa	207
Thermal expansion coefficient, α	1/K	$11,7 \times 10^{-6}$
Thermal conductivity	W/m.K	45,3
Density, ρ	kg/m ³	7850
Poisson's ratio, ν	-	0,3
Nominal pipe joint length	m	12,2

Anti Corrosion - 3 Layer Polyethylene (3LPE)

Property	Unit	Value
Minimum total thickness (NPS 16)	mm	3,5
Minimum total thickness (NPS 8)	mm	3,1
Cutback	mm	150
Thermal Conductivity	W/m.K	0,22
Density	kg/m3	940

Internal Coating - Liquid Epoxy

Property	Unit	Value
Thickness (DFT)	microns	60
Cutback	mm	75
Thermal Conductivity	W/m.K	0,22
Density	kg/m3	1180

Concrete Weight Coating

Property	Unit	Value
Water absorption	%	2
Cutback	mm	375
Thermal Conductivity	W/m.K	2,1
Density (dry)	kg/m3	3040

Field Joint Infill Density - Polyurethane Foam (PUF)

Property	Unit	Value
Thickness	mm	To match CWC
Density (dry in-place)	kg/m3	160
Density (saturated)	kg/m3	1025

Armour Rock

Property	Unit	Value
Dry density (single particle)	kg/m ³	2650
Submerged density (single particle)	kg/m ³	1585
Layer void ratio	%	32-43
Bulk density (dry)	kg/m ³	1500-1800
Bulk density (submerged)	kg/m ³	920-1103
Angle of repose	degrees	40
Uplift coefficient	-	0,8

DATA JANGKAR

Group	Nama Kapal	Gross Tonnage	Dimensi Kapal (m)		
			Panjang	Lebar	Sarat
A	Fugro Supporter	2065	75.4	12.5	5.4
B	Ketaling	5119	105	18.8	5.3
C	Providence	9738	143.1	22	5.2
D	Durgandini	21853	179.9	28	7.1
E	Ridgebury John	28063	177.6	32.2	18.1
F	Ostende Max	38489	225	32.3	17.8
G	Concertina	52048	232	42	20.3
H	Jag Leela	58374	243.5	42	20
I	Gede	63005	244	44	21.5

Group	Lebar Jangkar (m)	Berat Jangkar (kg)	Lebar Fluke Jangkar (m)	Diameter Rantai Jangkar (mm)	Panjang Rantai Jangkar (m)
A	1.26	1590	0.9	34	12.5
B	1.636	3300	1.18	50	495
C	2.011	4650	1.413	52	495
D	2.179	7800	1.556	68	632.5
E	2.311	9300	1.65	76	660
F	2.407	10500	1.719	78	660
G	2.452	11100	1.751	81	687.5
H	2.372	10200	1.694	87	715
I	2.372	10130	1.694	90	705.7

HASIL AKHIR PENILAIAN FREKUENSI

Kecepatan (knot)	Group	Dropped Anchor		Dragged Anchor		Sinking Vessel	
		Frekuensi	Ranking	Frekuensi	Ranking	Frekuensi	Ranking
2	A	1.34E-01	5	1.06E-04	2	4.67E-07	1
	B	2.07E-01	5	1.55E-04	2	5.38E-07	1
	C	4.68E-02	4	3.41E-05	1	5.18E-08	1
	D	8.73E-02	4	6.07E-05	1	3.97E-08	1
	E	9.29E-02	4	6.50E-05	1	1.54E-07	1
	F	4.30E-01	5	2.91E-04	2	8.18E-07	1
	G	1.95E-01	5	1.31E-04	2	2.01E-07	1
	H	2.21E-01	5	7.38E-05	1	9.54E-08	1
	I	2.32E-01	5	1.55E-04	2	5.73E-08	1
4	A	6.68E-02	4	5.29E-05	1	2.33E-07	1
	B	1.04E-01	5	7.74E-05	1	2.69E-07	1
	C	2.34E-02	4	1.71E-05	1	2.59E-08	1
	D	4.36E-02	4	3.03E-05	1	1.99E-08	1
	E	4.65E-02	4	3.25E-05	1	7.69E-08	1
	F	2.15E-01	5	1.45E-04	2	4.09E-07	1
	G	9.75E-02	4	6.56E-05	1	1.00E-07	1
	H	1.10E-01	5	7.38E-05	1	4.77E-08	1
	I	1.16E-01	5	7.76E-05	1	2.86E-08	1
6	A	4.45E-02	4	3.53E-05	1	1.56E-07	1
	B	6.91E-02	4	5.16E-05	1	1.79E-07	1
	C	1.56E-02	4	1.14E-05	1	1.73E-08	1
	D	2.91E-02	4	2.02E-05	1	1.32E-08	1
	E	3.10E-02	4	2.17E-05	1	5.12E-08	1
	F	1.43E-01	5	9.69E-05	1	2.73E-07	1
	G	6.50E-02	4	4.38E-05	1	6.69E-08	1
	H	7.37E-02	4	4.92E-05	1	3.18E-08	1
	I	7.75E-02	4	5.17E-05	1	1.91E-08	1

Kapal Group A. 2 knot

Anchorage Area	Kapal Berada di CADZ	Kapal Menjatuhkan Jangkar	Anchor Failure**	Potensi Kejadian	Peluang Kejadian Dropped Anchor
		Ya	1	Jangkar Jatuh ke Pipa	1.34E-01
	Ya			Jangkar Jatuh ke Pipa	0.00E+00
		Tidak	0	Pipa Aman	1.00E-02
			Tidak	Pipa Aman	0.866357064
	Tidak				Total = 1

** A. Kvitrud. 2005. *In Service Experiences of Anchoring Systems in Norway 1996-2005*

Kapal Group A. 2 knot

Anchorage Area	Kapal Berada di CADRZ	Jangkar Dijatuhkan	Anchor Failure**	Loss Holding Capacity Anchor**	Potensi Kejadian	Peluang Kejadian Dragged Anchor
		Ya	1	Ya	Pipa Terseret Jangkar	1.06E-04
				0.005		
		Ya	1	Tidak	Pipa Tidak Terseret	2.11E-02
				0.995		
		Ya	2.12E-02	Ya	Pipa Terseret Jangkar	0.00E+00
				0.005		
		Ya	0	Ya	Pipa Tidak Terseret	0.00E+00
				0.025		
		Tidak	0.075	Tidak	Pipa Aman	0.00E+00
				Tidak	Pipa Aman	0.97883006
Tidak						
Total =						1

** A. Kvitrud. 2005. *In Service Experiences of Anchoring Systems in Norway 1996-2005*

Kapal Group A. 2 knot

<i>Anchorage Area</i>	Kapal Berada di CSZ	Collision***	Kapal <i>Flooding & Tenggelam</i> ***	Potensi Kejadian	Peluang Kejadian Sinking Vessel
		Ya	12%	Kapal Tenggelam	4.67E-07
		Ya	0.0064		
			88%	Kapal Rusak Ringan	3.42E-06
		Tidak			
	Ya	6.08E-04			
		0.9936		Kapal Aman	6.04E-04
	Tidak				
		0.99939241		Kapal Aman	0.99939241
	Tidak				
				Total =	1

*** Zaky, Moch. 2012. Marine Safety in Indonesia Waters and Some Insights Gained from the European Experience.

TOTAL FREKUENSI ANCHORAGE AREA A

Route	Number of Traffic From	Number of Traffic To
Samarinda -Tarakan/Bontang/Berau	3294	3835
Samarinda - China/Philippines	1703	1491
Samarinda - Central & North Sulawesi	1450	1480
Samarinda - South & South East	800	794
Samarinda - Java & Bali	2584	2539
Samarinda - Balikpapan & South	8976	9050
Balikpapan - Tarakan/Bontang/Berau	2800	2800

Group	Types of Ship	GT	Traffic per Tahun	Persen (%)
A	Tug Boat & Supply Vessel	2000	4635	0.505
B	Coal & Oil Barge	5000	2769	0.302
C	Small Size Motor Vessel	10000	144	0.016
D	Medium Size Motor Vessel	20000	70	0.008
E	Medium Size Motor Vessel	30000	278	0.030
F	Medium Size Motor Vessel	40000	923	0.101
G	Medium Size Motor Vessel	50000	213	0.023
H	Large Size Motor Vessel	60000	92	0.010
I	Large Size Motor Vessel	70000	55	0.006
Jumlah			9179	1.00

DROPPED ANCHOR

Group A: 2000 GT						
Symbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	75.4	75.4	75.4
B	-	Lebar Kapal	m	12.5	12.5	12.5
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar Jangkar	m	1.26	1.26	1.26
G	$(2 \times F) + C$	Lebar CADZ	m	3.028	3.028	3.028
H	$F \times G$	Luas CADZ	m ²	27252	27252	27252
I	$A \times B$	Luasan proyeksi kapal	m ²	942.5	942.5	942.5
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.035	0.035	0.035
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	12	12	12
L	$J \times K$	Rasio total luasan kapal	-	0.415	0.415	0.415
M	$(A+G)/D$	Waktu kapal melintas CADZ	s	76.226	38.113	25.409
N	$L \times M$	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	31.635	15.817	10.545
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	3.66E-04	1.83E-04	1.22E-04
Q	$365 \times P$	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	1.34E-01	6.68E-02	4.45E-02
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	$Q \times R$	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	1.34E-01	6.68E-02	4.45E-02
LEVEL				5	4	4

Group B: 5000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	105	105	105
B	-	Lebar Kapal	m	18.8	18.8	18.8
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar Jangkar	m	1.636	1.636	1.636
G	(2x F)+C	Lebar CADZ	m	3.78	3.78	3.78
H	F x G	Luas CADZ	m2	34020	34020	34020
I	A x B	Luasan proyeksi kapal	m2	1974	1974	1974
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.058	0.058	0.058
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	8	8	8
L	J x K	Rasio total luasan kapal	-	0.464	0.464	0.464
M	(A+G)/D	Waktu kapal melintas CADZ	s	105.726	52.863	35.242
N	L x M	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	49.078	24.539	16.359
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	5.68E-04	2.84E-04	1.89E-04
Q	365 x P	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	2.07E-01	1.04E-01	6.91E-02
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	Q x R	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	2.07E-01	1.04E-01	6.91E-02
LEVEL				5	5	4

Group C: 10000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	143.1	143.1	143.1
B	-	Lebar Kapal	m	22	22	22
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar Jangkar	m	2.011	2.011	2.011
G	$(2 \times F) + C$	Lebar CADZ	m	4.53	4.53	4.53
H	$F \times G$	Luas CADZ	m ²	40770	40770	40770
I	$A \times B$	Luasan proyeksi kapal	m ²	3148.2	3148.2	3148.2
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.077	0.077	0.077
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	$J \times K$	Rasio total luasan kapal	-	0.077	0.077	0.077
M	$(A+G)/D$	Waktu kapal melintas CADZ	s	143.485	71.742	47.828
N	$L \times M$	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	11.080	5.540	3.693
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	1.28E-04	6.41E-05	4.27E-05
Q	$365 \times P$	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	4.68E-02	2.34E-02	1.56E-02
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	$Q \times R$	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	4.68E-02	2.34E-02	1.56E-02
LEVEL				4	4	4

Group D: 20000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	179.9	179.9	179.9
B	-	Lebar Kapal	m	28	28	28
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar Jangkar	m	2.179	2.179	2.179
G	$(2 \times F) + C$	Lebar CADZ	m	4.866	4.866	4.866
H	$F \times G$	Luas CADZ	m ²	43794	43794	43794
I	$A \times B$	Luasan proyeksi kapal	m ²	5037.2	5037.2	5037.2
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.115	0.115	0.115
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	$J \times K$	Rasio total luasan kapal	-	0.115	0.115	0.115
M	$(A+G)/D$	Waktu kapal melintas CADZ	s	179.578	89.789	59.859
N	$L \times M$	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	20.655	10.328	6.885
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	2.39E-04	1.20E-04	7.97E-05
Q	$365 \times P$	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	8.73E-02	4.36E-02	2.91E-02
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	$Q \times R$	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	8.73E-02	4.36E-02	2.91E-02
LEVEL				4	4	4

Group E: 30000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	177.6	177.6	177.6
B	-	Lebar Kapal	m	32.2	32.2	32.2
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar Jangkar	m	2.311	2.311	2.311
G	$(2 \times F) + C$	Lebar CADZ	m	5.13	5.13	5.13
H	$F \times G$	Luas CADZ	m ²	46170	46170	46170
I	$A \times B$	Luasan proyeksi kapal	m ²	5718.72	5718.72	5718.72
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.124	0.124	0.124
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	$J \times K$	Rasio total luasan kapal	-	0.124	0.124	0.124
M	$(A+G)/D$	Waktu kapal melintas CADZ	s	177.599	88.800	59.200
N	$L \times M$	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	21.998	10.999	7.333
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	2.55E-04	1.27E-04	8.49E-05
Q	$365 \times P$	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	9.29E-02	4.65E-02	3.10E-02
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	$Q \times R$	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	9.29E-02	4.65E-02	3.10E-02
LEVEL				4	4	4

Group F: 40000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	225	225	225
B	-	Lebar Kapal	m	32.3	32.3	32.3
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar Jangkar	m	2.407	2.407	2.407
G	$(2 \times F) + C$	Lebar CADZ	m	5.322	5.322	5.322
H	$F \times G$	Luas CADZ	m ²	47898	47898	47898
I	$A \times B$	Luasan proyeksi kapal	m ²	7267.5	7267.5	7267.5
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.152	0.152	0.152
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	3	3	3
L	$J \times K$	Rasio total luasan kapal	-	0.455	0.455	0.455
M	$(A+G)/D$	Waktu kapal melintas CADZ	s	223.855	111.928	74.618
N	$L \times M$	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	101.896	50.948	33.965
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	1.18E-03	5.90E-04	3.93E-04
Q	$365 \times P$	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	4.30E-01	2.15E-01	1.43E-01
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	$Q \times R$	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	4.30E-01	2.15E-01	1.43E-01
LEVEL				5	4	4

Group G: 50000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	232	232	232
B	-	Lebar Kapal	m	42	42	42
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar Jangkar	m	2.452	2.452	2.452
G	$(2 \times F) + C$	Lebar CADZ	m	5.412	5.412	5.412
H	$F \times G$	Luas CADZ	m ²	48708	48708	48708
I	$A \times B$	Luasan proyeksi kapal	m ²	9744	9744	9744
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.200	0.200	0.200
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	$J \times K$	Rasio total luasan kapal	-	0.200	0.200	0.200
M	$(A+G)/D$	Waktu kapal melintas CADZ	s	230.746	115.373	76.915
N	$L \times M$	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	46.161	23.080	15.387
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	5.34E-04	2.67E-04	1.78E-04
Q	$365 \times P$	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	1.95E-01	9.75E-02	6.50E-02
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	$Q \times R$	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	1.95E-01	9.75E-02	6.50E-02
LEVEL				4	4	4

Group H: 60000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	243.5	243.5	243.5
B	-	Lebar Kapal	m	42	42	42
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar Jangkar	m	2.372	2.372	2.372
G	$(2 \times F) + C$	Lebar CADZ	m	5.252	5.252	5.252
H	$F \times G$	Luas CADZ	m ²	47268	47268	47268
I	$A \times B$	Luasan proyeksi kapal	m ²	10227	10227	10227
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.216	0.216	0.216
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	$J \times K$	Rasio total luasan kapal	-	0.216	0.216	0.216
M	$(A+G)/D$	Waktu kapal melintas CADZ	s	241.768	120.884	80.589
N	$L \times M$	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	52.309	26.155	17.436
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	6.05E-04	3.03E-04	2.02E-04
Q	$365 \times P$	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	2.21E-01	1.10E-01	7.37E-02
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	$Q \times R$	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	2.21E-01	1.10E-01	7.37E-02
LEVEL				5	5	4

Group I: 70000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	244	244	244
B	-	Lebar Kapal	m	44	44	44
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar Jangkar	m	2.372	2.372	2.372
G	(2x F)+C	Lebar CADZ	m	5.252	5.252	5.252
H	F x G	Luas CADZ	m2	47268	47268	47268
I	A x B	Luasan proyeksi kapal	m2	10736	10736	10736
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.227	0.227	0.227
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	J x K	Rasio total luasan kapal	-	0.227	0.227	0.227
M	(A+G)/D	Waktu kapal melintas CADZ	s	242.254	121.127	80.751
N	L x M	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	55.023	27.512	18.341
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	6.37E-04	3.18E-04	2.12E-04
Q	365 x P	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	2.32E-01	1.16E-01	7.75E-02
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	Q x R	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	2.32E-01	1.16E-01	7.75E-02
LEVEL				5	5	4

DRAGGED ANCHOR

Group A : 2000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	75.4	75.4	75.4
B	-	Lebar Kapal	m	12.5	12.5	12.5
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar fluke jangkar	m	0.9	0.9	0.9
G	$27 \times F$	Lebar CADZ	m	24.3	24.3	24.3
H	$(27 \times F) \times G$	Luas CADZ	m ²	218700	218700	218700
I	$A \times B$	Luasan proyeksi kapal	m ²	942.5	942.5	942.5
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.004	0.004	0.004
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	12	12	12
L	$J \times K$	Rasio total luasan kapal	-	0.052	0.052	0.052
M	$(A+G)/D$	Waktu kapal melintas CADZ	s	96.901	48.450	32.300
N	$L \times M$	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	5.011	2.506	1.670
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	5.80E-05	2.90E-05	1.93E-05
Q	$365 \times P$	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	2.12E-02	1.06E-02	7.06E-03
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	-	Peluang jangkar loss holding capacity	-	0.50%	0.50%	0.50%
T	$S \times T$	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	1.06E-04	5.29E-05	3.53E-05
LEVEL				2	1	1

Group B : 5000 GT							
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)			
				2	4	6	
A	-	Panjang kapal	m	105	105	105	
B	-	Lebar Kapal	m	18.8	18.8	18.8	
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508	
			m	0.508	0.508	0.508	
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087	
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000	
F	-	Lebar fluke jangkar	m	1.18	1.18	1.18	
G	27xF	Lebar CADZ	m	31.86	31.86	31.86	
H	(27 x F)x G	Luas CADZ	m ²	286740	286740	286740	
I	A x B	Luasan proyeksi kapal	m ²	1974	1974	1974	
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.007	0.007	0.007	
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	8	8	8	
L	J x K	Rasio total luasan kapal	-	0.055	0.055	0.055	
M	(A+G)/D	Waktu kapal melintas CADZ	s	133.017	66.509	44.339	
N	L x M	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	7.326	3.663	2.442	
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400	
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	8.48E-05	4.24E-05	2.83E-05	
Q	365 x P	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	3.09E-02	1.55E-02	1.03E-02	
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%	
S	-	Peluang jangkar loss holding capacity	-	0.50%	0.50%	0.50%	
T	S x T	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	1.55E-04	7.74E-05	5.16E-05	
LEVEL				2	1	1	

Group C : 10000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	143.1	143.1	143.1
B	-	Lebar Kapal	m	22	22	22
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar fluke jangkar	m	1.413	1.413	1.413
G	27xF	Lebar CADZ	m	38.151	38.151	38.151
H	(27 x F)x G	Luas CADZ	m ²	343359	343359	343359
I	A x B	Luasan proyeksi kapal	m ²	3148.2	3148.2	3148.2
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.009	0.009	0.009
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	J x K	Rasio total luasan kapal	-	0.009	0.009	0.009
M	(A+G)/D	Waktu kapal melintas CADZ	s	176.162	88.081	58.721
N	L x M	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	1.615	0.808	0.538
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	1.87E-05	9.35E-06	6.23E-06
Q	365 x P	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	6.82E-03	3.41E-03	2.27E-03
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	-	Peluang jangkar loss holding capacity	-	0.50%	0.50%	0.50%
T	S x T	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	3.41E-05	1.71E-05	1.14E-05
LEVEL				1	1	1

Group D : 20000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	179.9	179.9	179.9
B	-	Lebar Kapal	m	28	28	28
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar fluke jangkar	m	1.556	1.556	1.556
G	$27 \times F$	Lebar CADZ	m	42.012	42.012	42.012
H	$(27 \times F) \times G$	Luas CADZ	m ²	378108	378108	378108
I	$A \times B$	Luasan proyeksi kapal	m ²	5037.2	5037.2	5037.2
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.013	0.013	0.013
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	$J \times K$	Rasio total luasan kapal	-	0.013	0.013	0.013
M	$(A+G)/D$	Waktu kapal melintas CADZ	s	215.681	107.841	71.894
N	$L \times M$	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	2.873	1.437	0.958
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	3.33E-05	1.66E-05	1.11E-05
Q	$365 \times P$	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	1.21E-02	6.07E-03	4.05E-03
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	-	Peluang jangkar loss holding capacity	-	0.50%	0.50%	0.50%
T	$S \times T$	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	6.07E-05	3.03E-05	2.02E-05
LEVEL				1	1	1

Group E : 30000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	177.6	177.6	177.6
B	-	Lebar Kapal	m	32.2	32.2	32.2
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar fluke jangkar	m	1.65	1.65	1.65
G	27xF	Lebar CADZ	m	44.55	44.55	44.55
H	(27 x F)x G	Luas CADZ	m ²	400950	400950	400950
I	A x B	Luasan proyeksi kapal	m ²	5718.72	5718.72	5718.72
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.014	0.014	0.014
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	J x K	Rasio total luasan kapal	-	0.014	0.014	0.014
M	(A+G)/D	Waktu kapal melintas CADZ	s	215.913	107.956	71.971
N	L x M	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	3.080	1.540	1.027
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	3.56E-05	1.78E-05	1.19E-05
Q	365 x P	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	1.30E-02	6.50E-03	4.34E-03
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	-	Peluang jangkar loss holding capacity	-	0.50%	0.50%	0.50%
T	S x T	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	6.50E-05	3.25E-05	2.17E-05
LEVEL				1	1	1

Group F : 40000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	225	225	225
B	-	Lebar Kapal	m	32.3	32.3	32.3
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar fluke jangkar	m	1.719	1.719	1.719
G	$27 \times F$	Lebar CADZ	m	46.413	46.413	46.413
H	$(27 \times F) \times G$	Luas CADZ	m ²	417717	417717	417717
I	$A \times B$	Luasan proyeksi kapal	m ²	7267.5	7267.5	7267.5
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.017	0.017	0.017
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	3	3	3
L	$J \times K$	Rasio total luasan kapal	-	0.052	0.052	0.052
M	$(A+G)/D$	Waktu kapal melintas CADZ	s	263.792	131.896	87.931
N	$L \times M$	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	13.768	6.884	4.589
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	1.59E-04	7.97E-05	5.31E-05
Q	$365 \times P$	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	5.82E-02	2.91E-02	1.94E-02
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	-	Peluang jangkar loss holding capacity	-	0.50%	0.50%	0.50%
T	$S \times T$	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	2.91E-04	1.45E-04	9.69E-05
LEVEL				2	2	1

Group G : 50000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	232	232	232
B	-	Lebar Kapal	m	42	42	42
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar fluke jangkar	m	1.751	1.751	1.751
G	27xF	Lebar CADZ	m	47.277	47.277	47.277
H	(27 x F)x G	Luas CADZ	m ²	425493	425493	425493
I	A x B	Luasan proyeksi kapal	m ²	9744	9744	9744
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.023	0.023	0.023
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	J x K	Rasio total luasan kapal	-	0.023	0.023	0.023
M	(A+G)/D	Waktu kapal melintas CADZ	s	271.436	135.718	90.479
N	L x M	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	6.216	3.108	2.072
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	7.19E-05	3.60E-05	2.40E-05
Q	365 x P	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	2.63E-02	1.31E-02	8.75E-03
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	-	Peluang jangkar loss holding capacity	-	0.50%	0.50%	0.50%
T	S x T	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	1.31E-04	6.56E-05	4.38E-05
LEVEL				2	1	1

Group H : 60000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	243.5	243.5	243.5
B	-	Lebar Kapal	m	42	42	42
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar fluke jangkar	m	1.694	1.694	1.694
G	27xF	Lebar CADZ	m	45.738	45.738	45.738
H	(27 x F)x G	Luas CADZ	m ²	411642	411642	411642
I	A x B	Luasan proyeksi kapal	m ²	10227	10227	10227
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.025	0.025	0.025
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	J x K	Rasio total luasan kapal	-	0.025	0.025	0.025
M	(A+G)/D	Waktu kapal melintas CADZ	s	281.117	140.558	93.706
N	L x M	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	6.984	3.492	2.328
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	8.08E-05	4.04E-05	2.69E-05
Q	365 x P	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	2.95E-02	1.48E-02	9.83E-03
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	-	Peluang jangkar loss holding capacity	-	0.50%	0.50%	0.50%
T	S x T	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	1.48E-04	7.38E-05	4.92E-05
LEVEL				2	1	1

Group I : 70000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	244	244	244
B	-	Lebar Kapal	m	44	44	44
C	-	Diameter luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
D	-	Kecepatan kapal	m/s	1.029	2.058	3.087
E	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9000	9000	9000
F	-	Lebar fluke jangkar	m	1.694	1.694	1.694
G	27xF	Lebar CADZ	m	45.738	45.738	45.738
H	(27 x F)x G	Luas CADZ	m ²	411642	411642	411642
I	A x B	Luasan proyeksi kapal	m ²	10736	10736	10736
J	I/H	Rasio luasan kapal & CADZ	-	0.026	0.026	0.026
K	-	Jumlah kapal datang bersamaan	kapal	1	1	1
L	J x K	Rasio total luasan kapal	-	0.026	0.026	0.026
M	(A+G)/D	Waktu kapal melintas CADZ	s	281.603	140.801	93.868
N	L x M	Total waktu kapal melintas 1 hari	s	7.344	3.672	2.448
O	-	Waktu 1 hari	s	86400	86400	86400
P	N/O	Peluang kapal bersama di CADZ 1 hari	-	8.50E-05	4.25E-05	2.83E-05
Q	365 x P	Peluang kapal di CADZ per tahun	-	3.10E-02	1.55E-02	1.03E-02
R	-	Peluang kapal menjatuhkan jangkar	-	100%	100%	100%
S	-	Peluang jangkar loss holding capacity	-	0.50%	0.50%	0.50%
T	S x T	Peluang kapal menjatuhkan jangkar di CADZ per tahun	-	1.55E-04	7.76E-05	5.17E-05
LEVEL				2	1	1

SINKING VESSEL

Group A: 2000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	75.4	75.4	75.4
B	-	Kedalaman perairan	m	35	35	35
C	-	Kecepatan kapal	m/s	1.03	2.06	3.09
D	-	Diamater luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
E	-	Maks tebal insulation & concrete pipa	mm	19.4	19.4	19.4
			m	0.0194	0.0194	0.0194
F	(A+D+2E)/C	Waktu melintasi pipa	s	74.308121	37.1540605	24.7693737
G	-	Jumlah melintas tahunan	kali	4635	4635	4635
H	FxG	Total waktu per tahun melintasi pipa	s	344418.141	172209.07	114806.047
I	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9100	9100	9100
J	(2A+D+2E)xI	Luas CSZ (Critical Sinking Zone)	m2	1377255.88	1377255.88	1377255.88
K	-	Luas anchorage area	m2	25100000	25100000	25100000
L	J/K	Peluang kapal berada di CSZ	-	0.05487075	0.05487075	0.05487075
M	HxL	Total waktu per tahun kapal di CSZ	s	18898.4824	9449.24122	6299.49415
N	-	Total waktu satu tahun	s	31104000	31104000	31104000
O	M/N	Peluang kapal di CSZ per tahun	-	6.08E-04	3.04E-04	2.03E-04
P	-	Peluang kapal tenggelam selama	-	7.68E-04	7.68E-04	7.68E-04
Q	OxP	Peluang kapal di CSZ akan tenggelam per tahun	-	4.67E-07	2.33E-07	1.56E-07
				1	1	1
LEVEL				1	1	1

Group B: 5000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	105	105	105
B	-	Kedalaman perairan	m	35	35	35
C	-	Kecepatan kapal	m/s	1.03	2.06	3.09
D	-	Diamater luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
E	-	Maks tebal insulation & concrete pipa	mm	19.4	19.4	19.4
			m	0.0194	0.0194	0.0194
F	$(A+D+2E)/C$	Waktu melintasi pipa	s	103.077019	51.5385097	34.3590065
G	-	Jumlah melintas tahunan	kali	2769	2769	2769
H	$F \times G$	Total waktu per tahun melintasi pipa	s	285420.267	142710.133	95140.0889
I	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9100	9100	9100
J	$(2A+D+2E) \times I$	Luas CSZ (Critical Sinking Zone)	m ²	1915975.88	1915975.88	1915975.88
K	-	Luas anchorage area	m ²	25100000	25100000	25100000
L	J/K	Peluang kapal berada di CSZ	-	0.0763337	0.0763337	0.0763337
M	$H \times L$	Total waktu per tahun kapal di CSZ	s	21787.1851	10893.5926	7262.39505
N	-	Total waktu satu tahun	s	31104000	31104000	31104000
O	M/N	Peluang kapal di CSZ per tahun	-	0.00070046	0.00035023	0.00023349
P	-	Peluang kapal tenggelam selama	-	7.68E-04	7.68E-04	7.68E-04
Q	$O \times P$	Peluang kapal di CSZ akan tenggelam per tahun	-	5.38E-07	2.69E-07	1.79E-07
LEVEL				1	1	1

Group C: 10000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	143.1	143.1	143.1
B	-	Kedalaman perairan	m	35	35	35
C	-	Kecepatan kapal	m/s	1.03	2.06	3.09
D	-	Diamater luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
E	-	Maks tebal insulation & concrete pipa	mm	19.4	19.4	19.4
			m	0.0194	0.0194	0.0194
F	$(A+D+2E)/C$	Waktu melintasi pipa	s	140.107257	70.0536285	46.702419
G		Jumlah melintas tahunan	kali	144	144	144
H	$F \times G$	Total waktu per tahun melintasi pipa	s	20175.445	10087.7225	6725.14834
I	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9100	9100	9100
J	$(2A+D+2E) \times I$	Luas CSZ (Critical Sinking Zone)	m ²	2609395.88	2609395.88	2609395.88
K	-	Luas anchorage area	m ²	25100000	25100000	25100000
L	J/K	Peluang kapal berada di CSZ	-	0.10396	0.10396	0.10396
M	$H \times L$	Total waktu per tahun kapal di CSZ	s	2097.43917	1048.71958	699.146389
N	-	Total waktu satu tahun	s	31104000	31104000	31104000
O	M/N	Peluang kapal di CSZ per tahun	-	6.7433E-05	3.3717E-05	2.2478E-05
P	-	Peluang kapal tenggelam selama	-	7.68E-04	7.68E-04	7.68E-04
Q	$O \times P$	Peluang kapal di CSZ akan tenggelam per tahun	-	5.18E-08	2.59E-08	1.73E-08
LEVEL				1	1	1

Group D: 20000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	179.9	179.9	179.9
B	-	Kedalaman perairan	m	35	35	35
C	-	Kecepatan kapal	m/s	1.03	2.06	3.09
D	-	Diamater luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
E	-	Maks tebal insulation & concrete pipa	mm	19.4	19.4	19.4
			m	0.0194	0.0194	0.0194
F	$(A+D+2E)/C$	Waktu melintasi pipa	s	175.873996	87.9369978	58.6246652
G		Jumlah melintas tahunan	kali	70	70	70
H	$F \times G$	Total waktu per tahun melintasi pipa	s	12311.1797	6155.58985	4103.72657
I	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9100	9100	9100
J	$(2A+D+2E) \times I$	Luas CSZ (Critical Sinking Zone)	m ²	3279155.88	3279155.88	3279155.88
K	-	Luas anchorage area	m ²	25100000	25100000	25100000
L	J/K	Peluang kapal berada di CSZ	-	0.13064366	0.13064366	0.13064366
M	$H \times L$	Total waktu per tahun kapal di CSZ	s	1608.37758	804.188791	536.12586
N	-	Total waktu satu tahun	s	31104000	31104000	31104000
O	M/N	Peluang kapal di CSZ per tahun	-	5.171E-05	2.5855E-05	1.7237E-05
P	-	Peluang kapal tenggelam selama	-	7.68E-04	7.68E-04	7.68E-04
Q	$O \times P$	Peluang kapal di CSZ akan tenggelam per tahun	-	3.97E-08	1.99E-08	1.32E-08
LEVEL				1	1	1

Group E: 30000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	177.6	177.6	177.6
B	-	Kedalaman perairan	m	35	35	35
C	-	Kecepatan kapal	m/s	1.03	2.06	3.09
D	-	Diamater luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
E	-	Maks tebal insulation & concrete pipa	mm	19.4	19.4	19.4
			m	0.0194	0.0194	0.0194
F	$(A+D+2E)/C$	Waktu melintasi pipa	s	173.638575	86.8192873	57.8795248
G		Jumlah melintas tahunan	kali	278	278	278
H	$F \times G$	Total waktu per tahun melintasi pipa	s	48271.5237	24135.7619	16090.5079
I	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9100	9100	9100
J	$(2A+D+2E) \times I$	Luas CSZ (Critical Sinking Zone)	m ²	3237295.88	3237295.88	3237295.88
K	-	Luas anchorage area	m ²	25100000	25100000	25100000
L	J/K	Peluang kapal berada di CSZ	-	0.12897593	0.12897593	0.12897593
M	$H \times L$	Total waktu per tahun kapal di CSZ	s	6225.86473	3112.93237	2075.28824
N	-	Total waktu satu tahun	s	31104000	31104000	31104000
O	M/N	Peluang kapal di CSZ per tahun	-	0.00020016	0.00010008	6.6721E-05
P	-	Peluang kapal tenggelam selama	-	7.68E-04	7.68E-04	7.68E-04
Q	$O \times P$	Peluang kapal di CSZ akan tenggelam per tahun	-	1.54E-07	7.69E-08	5.12E-08
LEVEL				1	1	1

Group F: 40000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	225	225	225
B	-	Kedalaman perairan	m	35	35	35
C	-	Kecepatan kapal	m/s	1.03	2.06	3.09
D	-	Diamater luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
E	-	Maks tebal insulation & concrete pipa	mm	19.4	19.4	19.4
			m	0.0194	0.0194	0.0194
F	$(A+D+2E)/C$	Waktu melintasi pipa	s	219.707689	109.853844	73.2358963
G		Jumlah melintas tahunan	kali	923	923	923
H	$F \times G$	Total waktu per tahun melintasi pipa	s	202790.197	101395.098	67596.7323
I	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9100	9100	9100
J	$(2A+D+2E) \times I$	Luas CSZ (Critical Sinking Zone)	m ²	4099975.88	4099975.88	4099975.88
K	-	Luas anchorage area	m ²	25100000	25100000	25100000
L	J/K	Peluang kapal berada di CSZ	-	0.16334565	0.16334565	0.16334565
M	$H \times L$	Total waktu per tahun kapal di CSZ	s	33124.8971	16562.4485	11041.6324
N	-	Total waktu satu tahun	s	31104000	31104000	31104000
O	M/N	Peluang kapal di CSZ per tahun	-	0.00106497	0.00053249	0.00035499
P	-	Peluang kapal tenggelam selama	-	7.68E-04	7.68E-04	7.68E-04
Q	$O \times P$	Peluang kapal di CSZ akan tenggelam per tahun	-	8.18E-07	4.09E-07	2.73E-07
LEVEL				1	1	1

Group G; 50000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	232	232	232
B	-	Kedalaman perairan	m	35	35	35
C	-	Kecepatan kapal	m/s	1.03	2.06	3.09
D	-	Diamater luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
E	-	Maks tebal insulation & concrete pipa	mm	19.4	19.4	19.4
			m	0.0194	0.0194	0.0194
F	$(A+D+2E)/C$	Waktu melintasi pipa	s	226.511145	113.255572	75.5037149
G		Jumlah melintas tahunan	kali	213	213	213
H	$F \times G$	Total waktu per tahun melintasi pipa	s	48246.8738	24123.4369	16082.2913
I	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9100	9100	9100
J	$(2A+D+2E) \times I$	Luas CSZ (Critical Sinking Zone)	m ²	4227375.88	4227375.88	4227375.88
K	-	Luas anchorage area	m ²	25100000	25100000	25100000
L	J/K	Peluang kapal berada di CSZ	-	0.16842135	0.16842135	0.16842135
M	$H \times L$	Total waktu per tahun kapal di CSZ	s	8125.80361	4062.90181	2708.6012
N	-	Total waktu satu tahun	s	31104000	31104000	31104000
O	M/N	Peluang kapal di CSZ per tahun	-	0.00026125	0.00013062	8.7082E-05
P	-	Peluang kapal tenggelam selama	-	7.68E-04	7.68E-04	7.68E-04
Q	$O \times P$	Peluang kapal di CSZ akan tenggelam per tahun	-	2.01E-07	1.00E-07	6.69E-08
LEVEL				1	1	1

Group H: 60000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	243.5	243.5	243.5
B	-	Kedalaman perairan	m	35	35	35
C	-	Kecepatan kapal	m/s	1.03	2.06	3.09
D	-	Diamater luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
E	-	Maks tebal insulation & concrete pipa	mm	19.4	19.4	19.4
			m	0.0194	0.0194	0.0194
F	$(A+D+2E)/C$	Waktu melintasi pipa	s	237.688251	118.844125	79.2294168
G		Jumlah melintas tahunan	kali	92	92	92
H	$F \times G$	Total waktu per tahun melintasi pipa	s	21867.319	10933.6595	7289.10635
I	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9100	9100	9100
J	$(2A+D+2E) \times I$	Luas CSZ (Critical Sinking Zone)	m ²	4436675.88	4436675.88	4436675.88
K	-	Luas anchorage area	m ²	25100000	25100000	25100000
L	J/K	Peluang kapal berada di CSZ	-	0.17676	0.17676	0.17676
M	$H \times L$	Total waktu per tahun kapal di CSZ	s	3865.26721	1932.63361	1288.4224
N	-	Total waktu satu tahun	s	31104000	31104000	31104000
O	M/N	Peluang kapal di CSZ per tahun	-	0.00012427	6.2135E-05	4.1423E-05
P	-	Peluang kapal tenggelam selama	-	7.68E-04	7.68E-04	7.68E-04
Q	$O \times P$	Peluang kapal di CSZ akan tenggelam per tahun	-	9.54E-08	4.77E-08	3.18E-08
LEVEL				1	1	1

Group I: 70000 GT						
Simbol	Equation	Keterangan	Unit	Kecepatan Kapal (knot)		
				2	4	6
A	-	Panjang kapal	m	244	244	244
B	-	Kedalaman perairan	m	35	35	35
C	-	Kecepatan kapal	m/s	1.03	2.06	3.09
D	-	Diamater luar pipa	mm	508	508	508
			m	0.508	0.508	0.508
E	-	Maks tebal insulation & concrete pipa	mm	19.4	19.4	19.4
			m	0.0194	0.0194	0.0194
F	$(A+D+2E)/C$	Waktu melintasi pipa	s	238.174212	119.087106	79.3914039
G		Jumlah melintas tahunan	kali	55	55	55
H	$F \times G$	Total waktu per tahun melintasi pipa	s	13099.5816	6549.79082	4366.52721
I	-	Panjang pipa di anchorage area	m	9100	9100	9100
J	$(2A+D+2E) \times I$	Luas CSZ (Critical Sinking Zone)	m ²	4445775.88	4445775.88	4445775.88
K	-	Luas anchorage area	m ²	25100000	25100000	25100000
L	J/K	Peluang kapal berada di CSZ	-	0.17712255	0.17712255	0.17712255
M	$H \times L$	Total waktu per tahun kapal di CSZ	s	2320.23124	1160.11562	773.410413
N	-	Total waktu satu tahun	s	31104000	31104000	31104000
O	M/N	Peluang kapal di CSZ per tahun	-	7.4596E-05	3.7298E-05	2.4865E-05
P	-	Peluang kapal tenggelam selama	-	7.68E-04	7.68E-04	7.68E-04
Q	$O \times P$	Peluang kapal di CSZ akan tenggelam per tahun	-	5.73E-08	2.86E-08	1.91E-08
LEVEL				1	1	1

Gravel Dump and Natural Backfill (Trenched/Buried)

(Equation 4.6.3, DNV-RP-F107), Untuk Studi Kasus Jangkar Jatuh

$$E_p = 0.5 \cdot \gamma' \cdot D \cdot N_\gamma \cdot A_p \cdot z + \gamma' \cdot z^2 \cdot N_q \cdot A_p$$

Dimana:

E_p = Energi penetrasi (kJ)

= 61.95903 kJ

γ' = Berat efektif material pengisi, tipe *silt clay*

= 6 kN/m³

D = Diameter pipa

= 0.508 m

A_p = Projected area

= 2.45 m²

z = Kedalaman penetrasi

= 0 m , E_p = 0 kJ

= 0.5 m , E_p = 61.95903 kJ

= 1 m , E_p = 171.1065 kJ

= 1.5 m , E_p = 353.019 kJ

= 2 m , E_p = 607.6965 kJ

N_q, N_γ = Koefisien kapasitas bearing

N_q = 99

N_γ = 137

(Equation 4.6.3, DNV-RP-F107), Untuk Studi Kasus Kapal Tenggelam

$$E_p = 0.5 \cdot \gamma' \cdot D \cdot N_\gamma \cdot A_p \cdot z + \gamma' \cdot z^2 \cdot N_q \cdot A_p$$

Dimana:

E_p = Energi penetrasi (kJ)

= 238352.6 kJ

γ' = Berat efektif material pengisi, tipe *silt clay*

= 6 kN/m³

D = Diameter pipa

= 0.508 m

A_p = Projected area

= 942.5 m²

z = Kedalaman penetrasi

= 0 m , E_p = 0 kJ

= 0.5 m , = 238352.595 kJ

= 1 m , = 756627.69 kJ

= 1.5 m , = 1554825.285 kJ

= 2 m , = 2632945.38 kJ

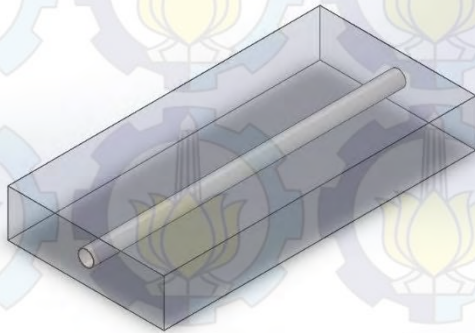
N_q, N_γ = Koefisien kapasitas bearing

N_q = 99

N_γ = 137



Laboratory of Reliability and Safety
Gedung WA Lt. 2 JTSP FTK-ITS
Phone: 085736212345
ne.its.ac.id



Simulation of Buried Pipeline 0,5m

Date: Wednesday, July 16, 2014
Designer: Fajar Agung Rahmadi
Study name: Study 1
Analysis type: Static

Table of Contents

Description.....	2
Assumptions	3
Model Information	3
Study Properties	5
Units	6
Material Properties	7
Loads and Fixtures.....	8
Connector Definitions.....	9
Contact Information.....	9
Mesh Information	10
Sensor Details	12
Resultant Forces	12
Beams.....	12
Study Results	13
Conclusion	17



Laboratory of Reliability and Safety
Gedung WA Lt. 2 JTSP FTK-ITS

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

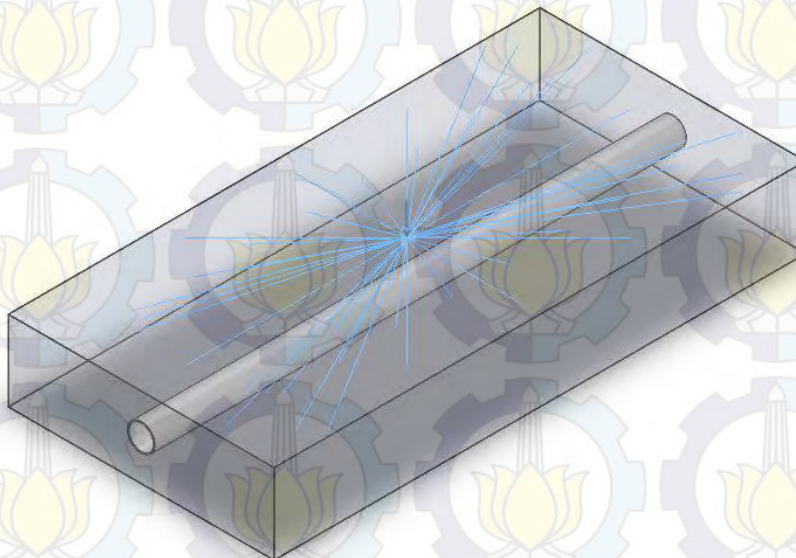
Description

No Data



Assumptions

Model Information



Model name: Buried Pipeline 0,5m
Current Configuration: Default

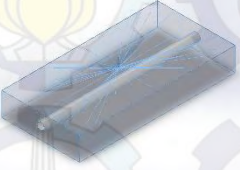
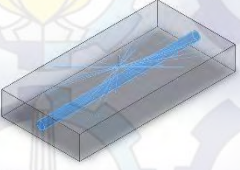
Solid Bodies

Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
-----------------------------	------------	-----------------------	-----------------------------



Laboratory of Reliability and Safety
Gedung WA Lt. 2 JTSP FTK-ITS

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Boss-Extrude1 	Solid Body	Mass:135740 kg Volume:73.3732 m³ Density:1850 kg/m³ Weight:1.33026e+006 N	D:\KULIAH\Semester 8\Bismillah TA Sukses\Data TA\PIPA\Buried Pipeline 0,5m.SLDprt Jul 16 14:15:34 2014
Boss-Extrude2 	Solid Body	Mass:2322.74 kg Volume:0.297787 m³ Density:7800 kg/m³ Weight:22762.8 N	D:\KULIAH\Semester 8\Bismillah TA Sukses\Data TA\PIPA\Buried Pipeline 0,5m.SLDprt Jul 16 14:15:34 2014



Study Properties

Study name	Study 1
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SolidWorks Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SolidWorks document (D:\KULIAH\Semester 8\Bismillah TA Sukses\Data TA\PIPA)



Laboratory of Reliability and Safety
Gedung WA Lt. 2 JTSP FTK-ITS

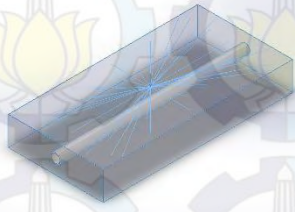
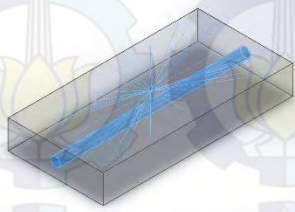
Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Units

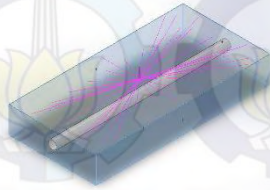
Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m ²



Material Properties

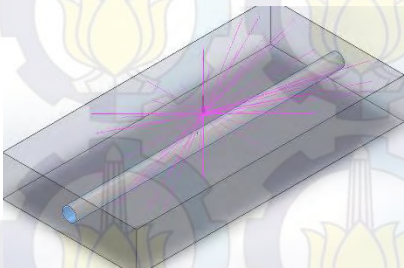
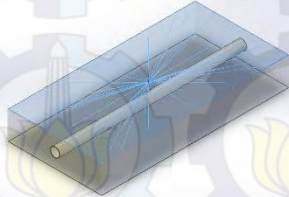
Model Reference	Properties	Components
	<p>Name: Default</p> <p>Model type: Linear Elastic Isotropic</p> <p>Default failure criterion: Mohr-Coulomb Stress</p> <p>Tensile strength: 20000 N/m²</p> <p>Compressive strength: 20000 N/m²</p> <p>Elastic modulus: 2.4e+008 N/m²</p> <p>Poisson's ratio: 0.3</p> <p>Mass density: 1850 kg/m³</p> <p>Shear modulus: 20000 N/m²</p>	SolidBody 1(Boss-Extrude1)(Part2)
Curve Data:N/A		
	<p>Name: Cast Carbon Steel</p> <p>Model type: Linear Elastic Isotropic</p> <p>Default failure criterion: Max von Mises Stress</p> <p>Yield strength: 2.48168e+008 N/m²</p> <p>Tensile strength: 4.82549e+008 N/m²</p> <p>Elastic modulus: 2e+011 N/m²</p> <p>Poisson's ratio: 0.32</p> <p>Mass density: 7800 kg/m³</p> <p>Shear modulus: 7.6e+010 N/m²</p> <p>Thermal expansion coefficient: 1.2e-005 /Kelvin</p>	SolidBody 2(Boss-Extrude2)(Part2)
Curve Data:N/A		

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixed-1		Entities: 5 face(s) Type: Fixed Geometry

Resultant Forces

Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	2312.14	119717	3329.47	119785
Reaction Moment(N·m)	0	0	0	0

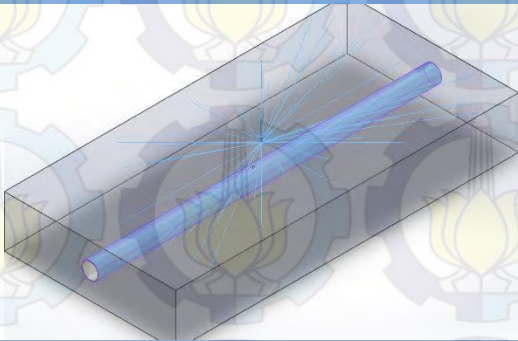
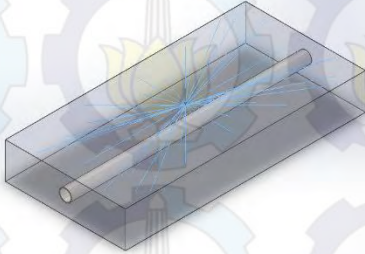
Load name	Load Image	Load Details
Pressure-1		Entities: 1 face(s) Type: Normal to selected face Value: 22.76 Units: N/mm ² (MPa)
Remote Load (Direct transfer)-1		Entities: 1 face(s) Type: Load (Direct transfer) Coordinate System: Global cartesian coordinates Force Values: ---, -121687, --- N Moment Values: ---, ---, --- N·m Reference coordinates: 0 0.754 -5 m Components transferred: Force



Connector Definitions

No Data

Contact Information

Contact	Contact Image	Contact Properties
Contact Set-1		Type: Bonded contact pair Entites: 2 face(s)
Global Contact		Type: Bonded Components: 1 component(s) Options: Compatible mesh



Mesh Information

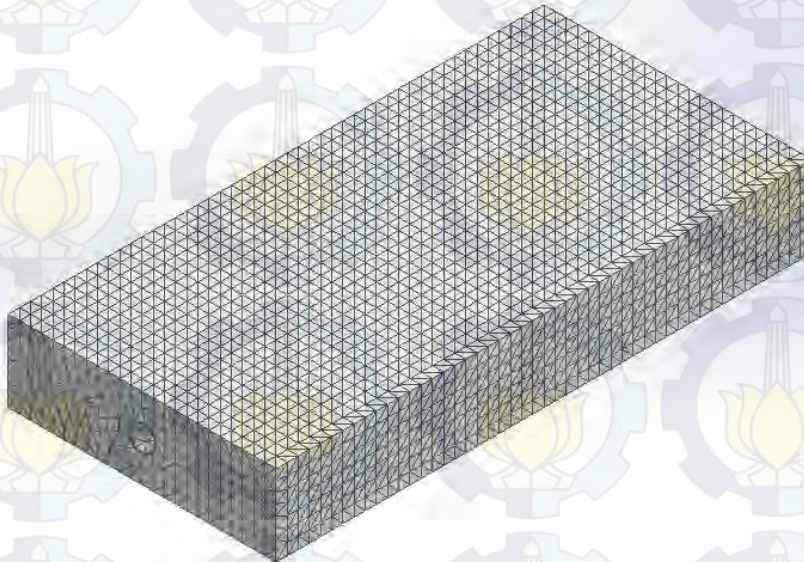
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	0.209575 m
Tolerance	0.0104788 m
Mesh Quality	High

Mesh Information - Details

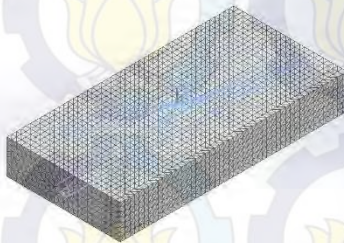
Total Nodes	82007
Total Elements	56159
Maximum Aspect Ratio	54.273
% of elements with Aspect Ratio < 3	96
% of elements with Aspect Ratio > 10	2.39
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:04
Computer name:	USER-PC



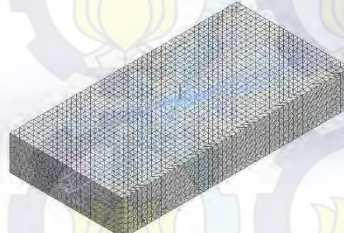
Model name: Buried Pipeline 0.5m
Study name: Study 1
Mesh type: Solid mesh



Mesh Control Information:

Mesh Control Name	Mesh Control Image	Mesh Control Details
Control-1		Entities: 1 Solid Body (s) Units: m Size: 0.209575 Ratio: 1.5



Control-2		<p>Entities: 1 Solid Body (s) Units: m Size: 0.209575 Ratio: 1.5</p>
-----------	---	--

Sensor Details

No Data

Resultant Forces

Reaction Forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	2312.14	119717	3329.47	119785

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N·m	0	0	0	0

Beams

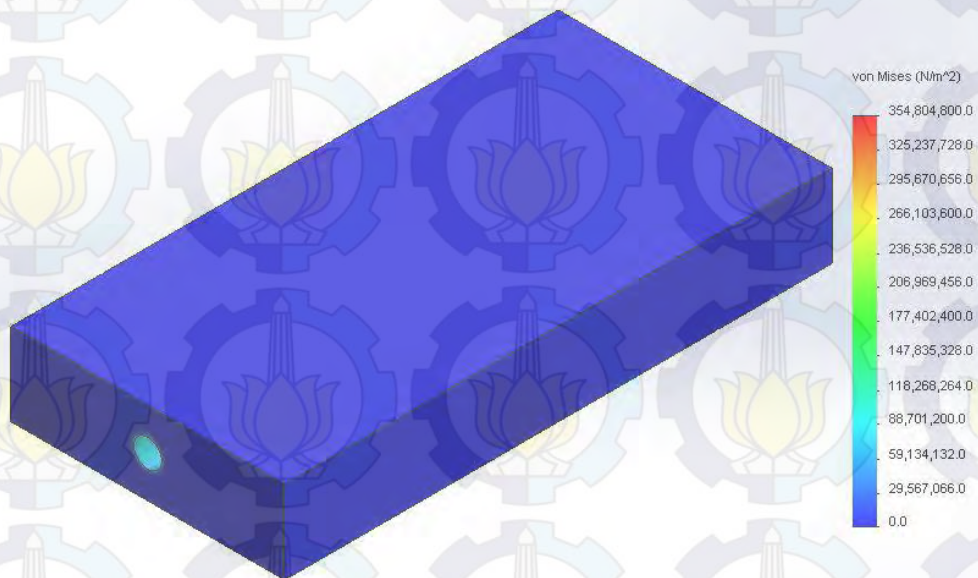
No Data



Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	2.54967e-005 N/m ² Node: 65340	3.54805e+008 N/m ² Node: 79512

Model name: Buried Pipeline 0,5m
Study name: Study 1
Plot type: Static nodal stress Stress1

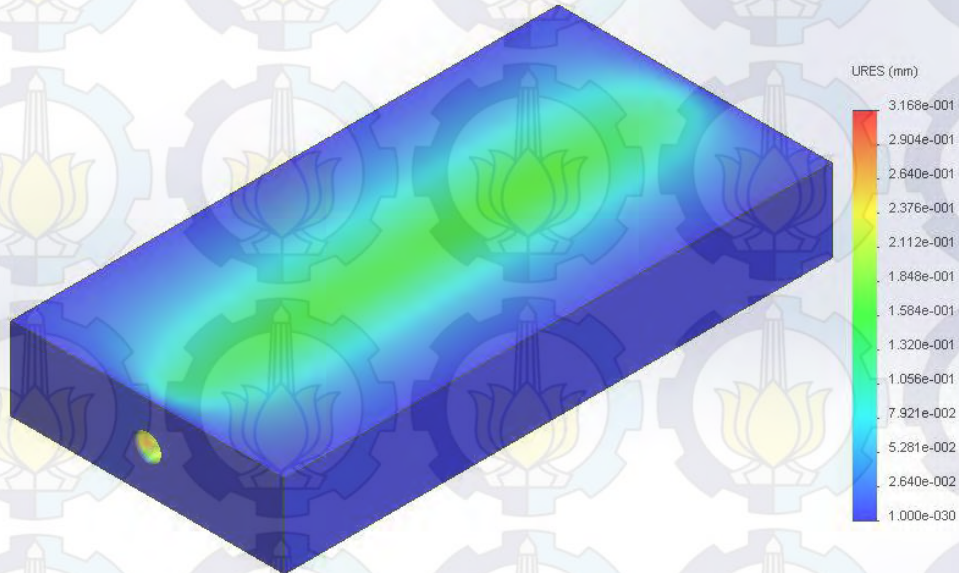


Buried Pipeline 0,5m-Study 1-Stress-Stress1

Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 1	0.316839 mm Node: 81982



Model name: Buried Pipeline 0,5m
Study name: Study 1
Plot type: Static displacement Displacement1

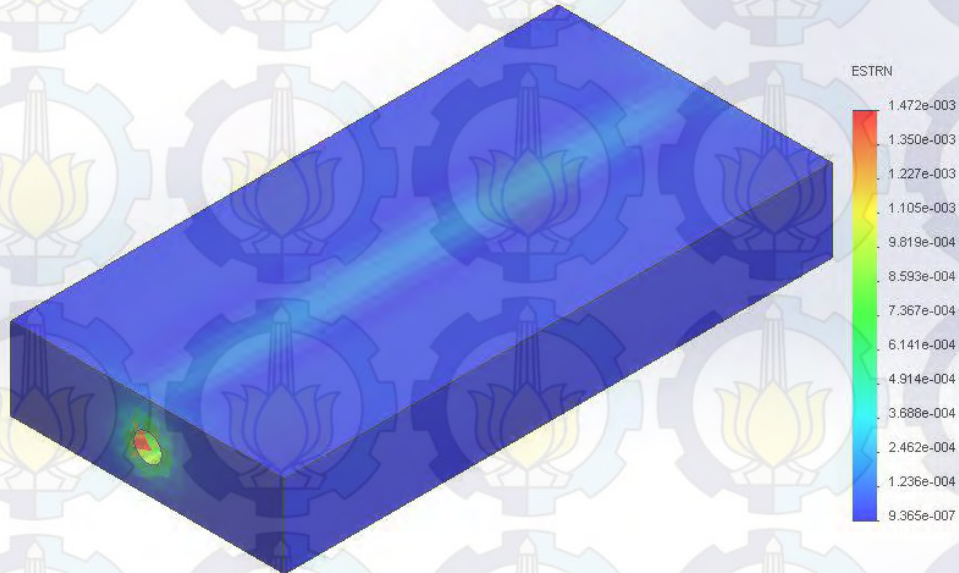


Buried Pipeline 0,5m-Study 1-Displacement-Displacement1

Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	9.36507e-007 Element: 8962	0.00147245 Element: 5781



Model name: Buried Pipeline 0,5m
Study name: Study 1
Plot type: Static strain Strain1

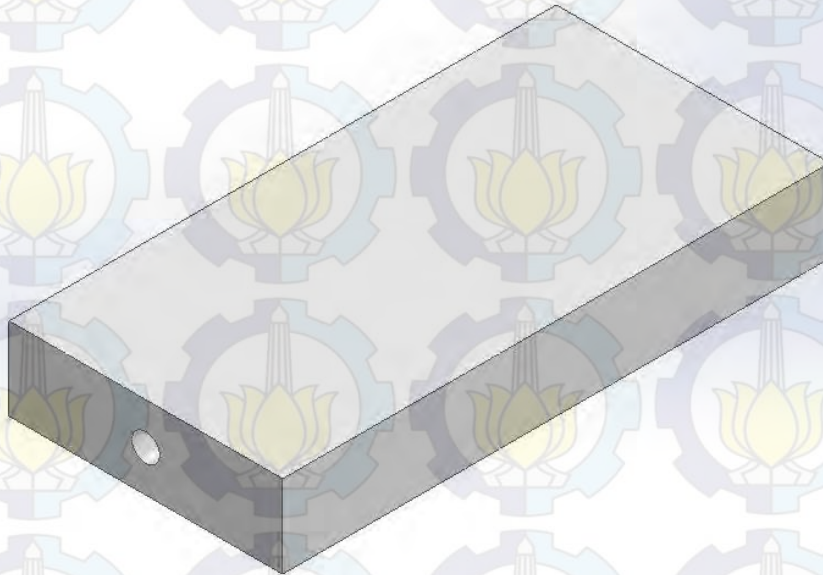


Buried Pipeline 0,5m-Study 1-Strain-Strain1

Name	Type
Displacement1{1}	Deformed Shape



Model name: Buried Pipeline 0,5m
Study name: Study 1
Plot type: Deformed Shape Displacement1{1}

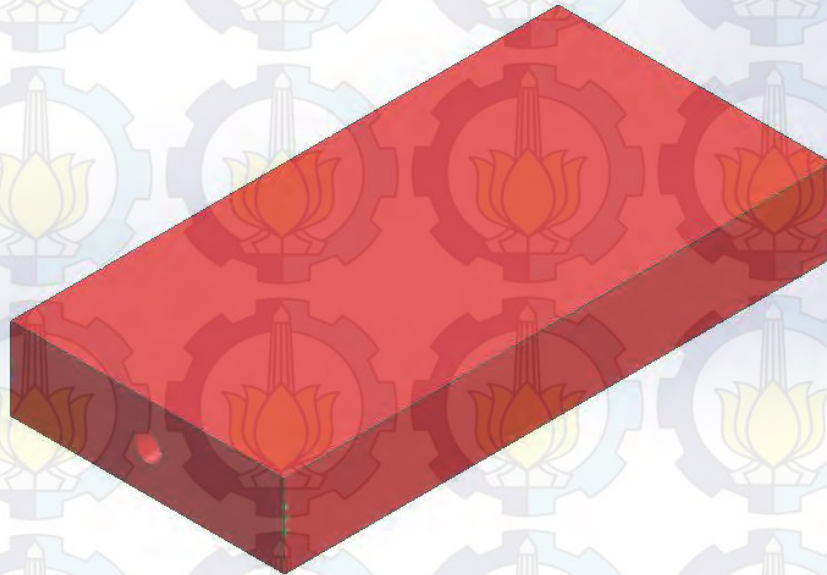


Buried Pipeline 0,5m-Study 1-Displacement-Displacement1{1}

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety1	Automatic	0.0332608 Node: 77090	4.72803e+008 Node: 65340



Model name: Buried Pipeline 0,5m
Study name: Study 1
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1
Criterion : Automatic
Factor of safety distribution: Min FOS = 0.033



FOS

472,802,560.00
433,402,336.00
394,002,112.00
354,601,920.00
315,201,696.00
275,801,472.00
236,401,280.00
197,001,056.00
157,600,848.00
118,200,640.00
78,800,424.00
39,400,212.00
0.03

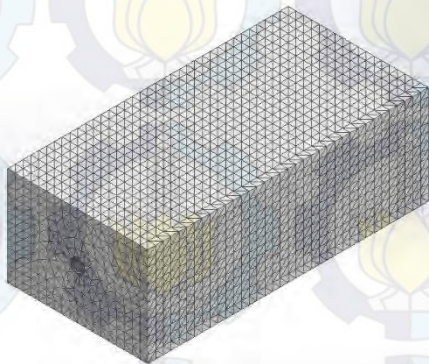
Buried Pipeline 0,5m-Study 1-Factor of Safety-Factor of Safety1

Conclusion

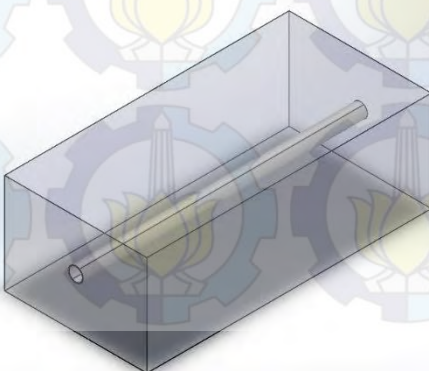
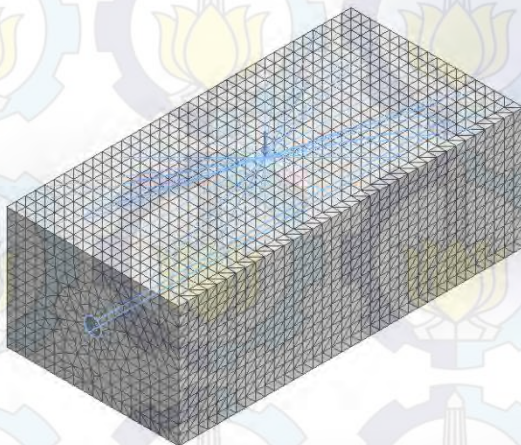


Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS, Sukolilo, Surabaya
Phone: 08573612345
ne.its.ac.id

Model name: Part1
Study name: Study 1
Mesh type: Solid mesh



Model name: Part1
Study name: Study 1
Mesh type: Solid mesh



Simulation of Part1

Date: Wednesday, July 16, 2014
Designer: Fajar Agung Rahmadi
Study name: Study 1
Analysis type: Static

Table of Contents

Description.....	2
Assumptions	3
Model Information	3
Study Properties	5
Units	6
Material Properties	7
Loads and Fixtures.....	8
Connector Definitions.....	9
Contact Information.....	9
Mesh Information	10
Sensor Details	11
Resultant Forces	11
Beams.....	11
Study Results	12
Conclusion	15



Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukolilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Description

No Data

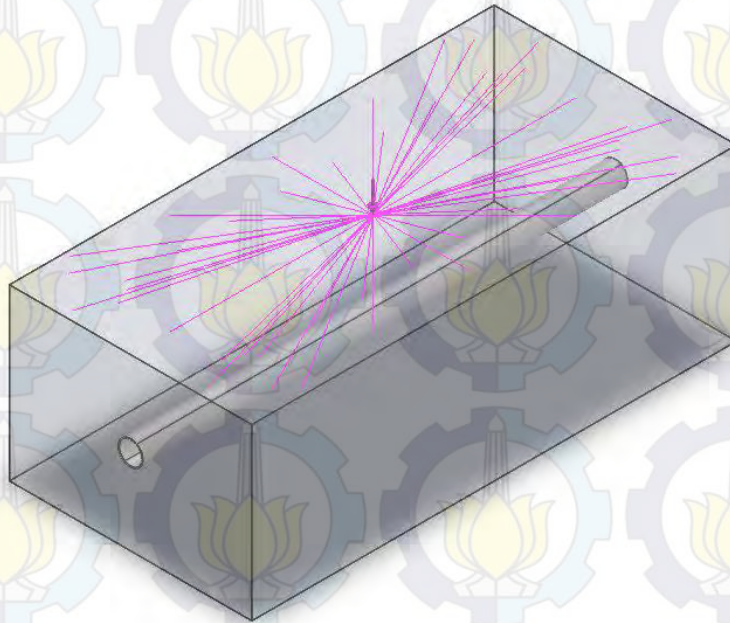


Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukolilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Assumptions

Model Information



Model name: Part1
Current Configuration: Default

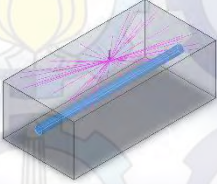
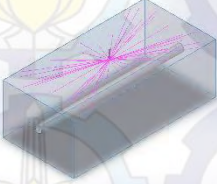
Solid Bodies

Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
-----------------------------	------------	-----------------------	-----------------------------



Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukolilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Boss-Extrude2 	Solid Body	Mass:2322.74 kg Volume:0.297787 m³ Density:7800 kg/m³ Weight:22762.8 N
Boss-Extrude1 	Solid Body	Mass:320740 kg Volume:173.373 m³ Density:1850 kg/m³ Weight:3.14326e+006 N



Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukolilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Study Properties

Study name	Study 1
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SolidWorks Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SolidWorks document (c:\users\user\appdata\local\temp)



Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukolilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Units

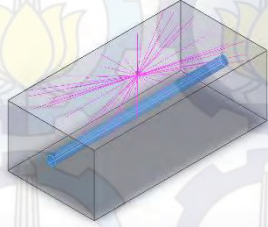
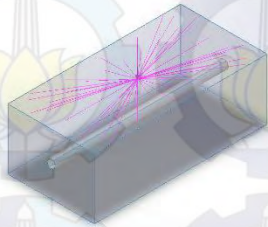
Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m ²



Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukolilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	Name: Cast Carbon Steel Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 2.48168e+008 N/m ² Tensile strength: 4.82549e+008 N/m ² Elastic modulus: 2e+011 N/m ² Poisson's ratio: 0.32 Mass density: 7800 kg/m ³ Shear modulus: 7.6e+010 N/m ² Thermal expansion coefficient: 1.2e-005 /Kelvin	SolidBody 1(Boss-Extrude2)(Part1)
Curve Data:N/A		
	Name: Default Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Mohr-Coulomb Stress Tensile strength: 20000 N/m ² Compressive strength: 20000 N/m ² Elastic modulus: 2.4e+008 N/m ² Poisson's ratio: 0.3 Mass density: 1850 kg/m ³ Shear modulus: 20000 N/m ²	SolidBody 2(Boss-Extrude1)(Part1)
Curve Data:N/A		



Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixed-1		Entities: 5 face(s) Type: Fixed Geometry

Resultant Forces

Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-172.193	118579	-37.5	118580
Reaction Moment(N·m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
Pressure-1		Entities: 1 face(s) Type: Normal to selected face Value: 22.76 Units: N/mm ² (MPa)
Remote Load (Direct transfer)-1		Entities: 1 face(s) Type: Load (Direct transfer) Coordinate System: Global cartesian coordinates Force Values: ---, -121687, --- N Moment Values: ---, ---, --- N·m Reference coordinates: 0 1.754 -5 m Components transferred: Force



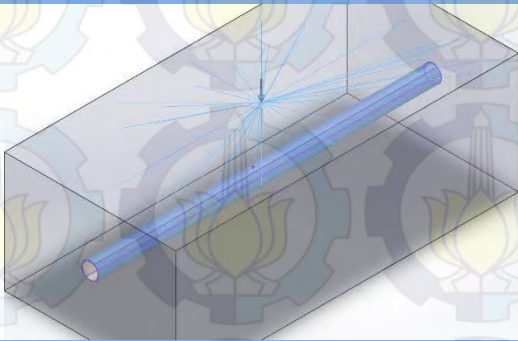
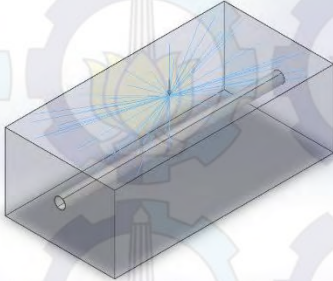
Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukolilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Connector Definitions

No Data

Contact Information

Contact	Contact Image	Contact Properties
Contact Set-1		Type: Bonded contact pair Entites: 2 face(s)
Global Contact		Type: Bonded Components: 1 component(s) Options: Compatible mesh



Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukolilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Mesh Information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	0.278914 m
Tolerance	0.0139457 m
Mesh Quality	High

Mesh Information - Details

Total Nodes	103500
Total Elements	66390
Maximum Aspect Ratio	12.448
% of elements with Aspect Ratio < 3	80.7
% of elements with Aspect Ratio > 10	0.00301
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:07
Computer name:	USER-PC

Mesh Control Information:

Mesh Control Name	Mesh Control Image	Mesh Control Details
Control-1		Entities: 1 Solid Body (s) Units: m Size: 0.19524 Ratio: 1.5



Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukolilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Sensor Details

No Data

Resultant Forces

Reaction Forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	-172.193	118579	-37.5	118580

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N·m	0	0	0	0

Beams

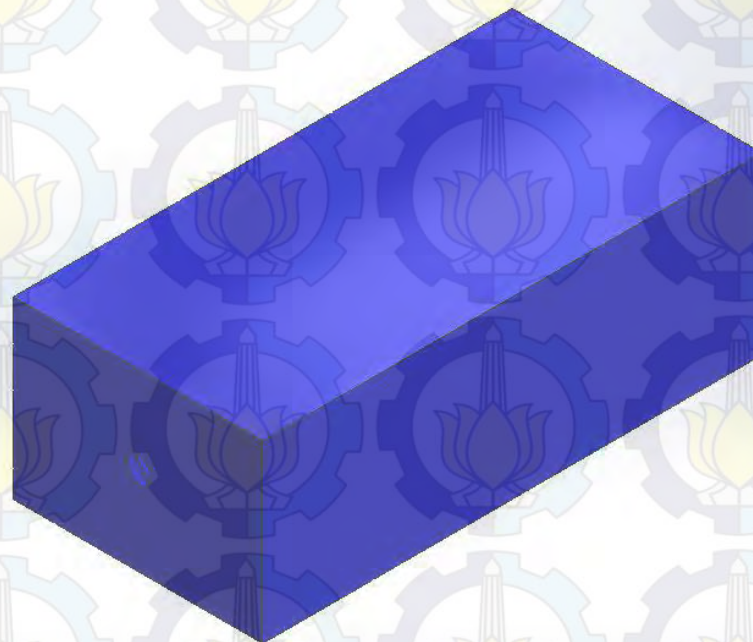
No Data



Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	3.62417e-005 N/m ² Node: 65191	3.41592e+008 N/m ² Node: 78231

Model name: Part1
Study name: Study 1
Plot type: Static nodal stress Stress1
Deformation scale: 2486.46



von Mises (N/m²)

341,591,520.0
313,125,568.0
284,659,584.0
256,193,632.0
227,727,680.0
199,261,728.0
170,795,760.0
142,329,792.0
113,863,840.0
85,397,880.0
56,931,920.0
28,465,960.0
0.0

Part1-Study 1-Stress-Stress1

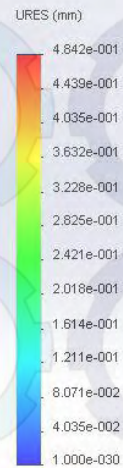
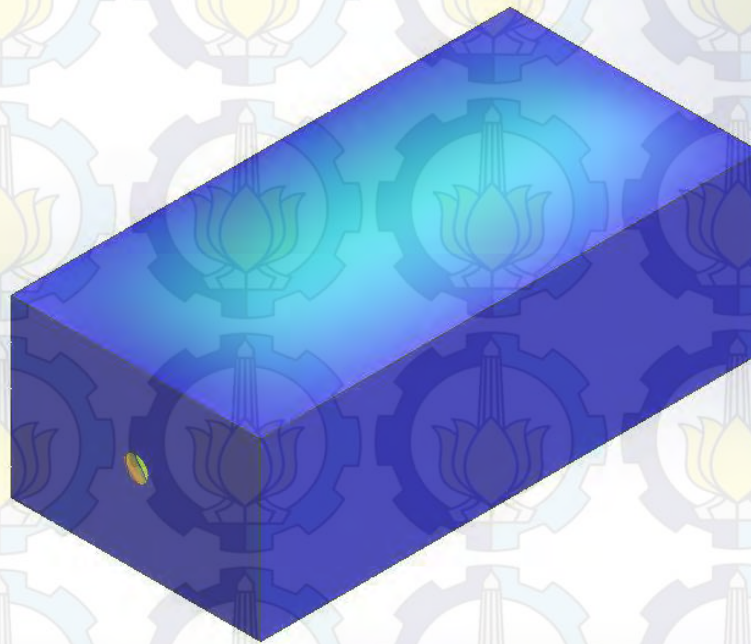
Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 1	0.484235 mm Node: 74529



Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukolilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Model name: Part1
Study name: Study 1
Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 2488.46



Part1-Study 1-Displacement-Displacement1

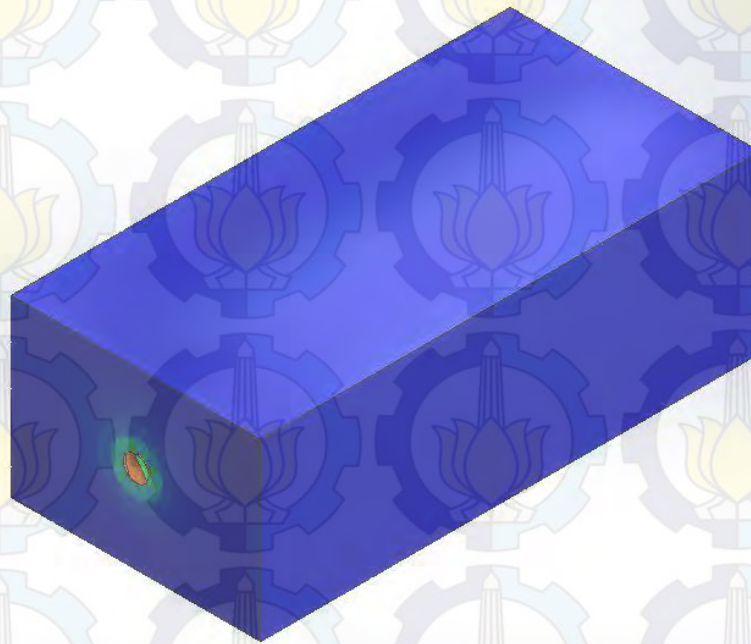
Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	8.25622e-007 Element: 15812	0.00226274 Element: 4478



Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Model name: Part1
Study name: Study 1
Plot type: Static strain Strain1
Deformation scale: 2488.46



Part1-Study 1-Strain-Strain1

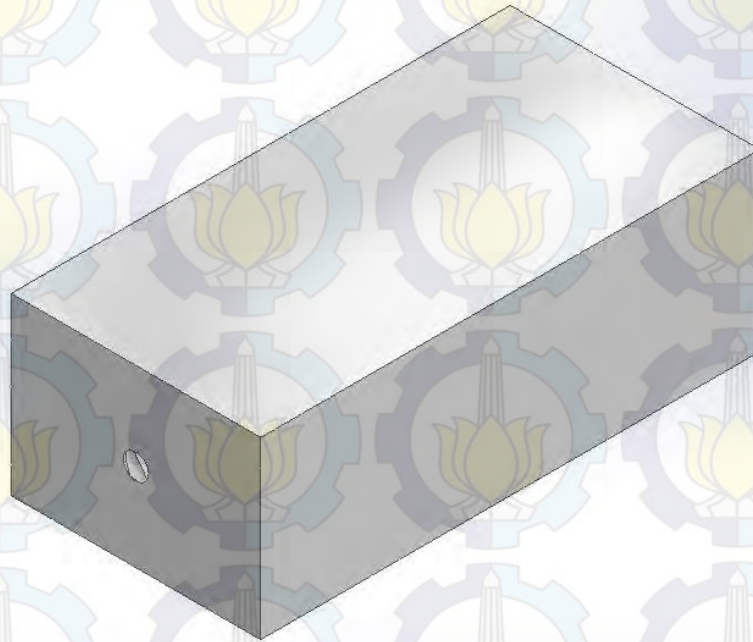
Name	Type
Displacement1{1}	Deformed Shape



Laboratory of Reliability and Safety FTK-ITS
Gedung WA Lt.2 Kampus JTSP FTK-ITS,
Sukolilo, Surabaya

Fajar Agung Rahmadi
7/16/2014

Model name: Part1
Study name: Study 1
Plot type: Deformed Shape Displacement1(1)
Deformation scale: 2488.46



Part1-Study 1-Displacement-Displacement1{1}

Conclusion

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Tulungagung Jawa Timur pada tanggal 12 Juli 1993 dengan nama lengkap Fajar Agung Rahmadi dan merupakan anak kedua dari pasangan Heri Marsudi dan Yayuk Winarni. Penulis menempuh jenjang pendidikan mulai dari TK Tribakti Kediri (1997-1999), SDN Sukorame II Kediri (1999-2005), SMPN 1 Kediri (2005-2008) dan SMAN 1 Kediri (Akselerasi 2008-2010).

Setelah lulus dari bangku SMA, penulis diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur penerimaan PMDK reguler pada tahun 2010.

Selama menempuh masa studi, penulis aktif di berbagai kegiatan dan organisasi di bidang akademik maupun non akademik. Diantaranya adalah organisasi kemahasiswaan HIMASISKAL (Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan) FTK-ITS sebagai Kepala Departemen Hubungan Luar (2012-2013) dan PERHIMATEKMI 2012-2013 (Perhimpunan Mahasiswa Teknologi Maritim Indonesia), serta *student member* dari IMarEST Indonesia Timur (*The Institute of Marine Engineering, Science and Technology*) dan anggota dari *Reliability and Safety Laboratory* JTSP ITS. Dalam bidang akademis, penulis memiliki minat dalam bidang *ship design, marine mechanical engineering, risk assessment, safety engineering*.

Fajar Agung Rahmadi

Mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS

fajar.rahmadi10@gmail.com